



**República de Cuba**

**Universidad de Cienfuegos  
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

**Título: “Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la  
producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA”**

**Trabajo de Diploma  
Ingeniería Industrial**

**Autor: Mailiu Díaz Peña**

**Tutor: Dr. Eduardo López Bastida  
Msc. Berlan Rodríguez Pérez**

**Cienfuegos, 2009.**

## Agradecimientos

*A mis padres, por confiar tanto en mí y dejarme tomar mis propias decisiones, por darme el cariño que necesito y guiarme en el camino correcto.*

*A mi hermana, por estar siempre a mi lado y quererme tanto.*

*A mi sobrina por darme tanto cariño y servirme de ayuda para pasar mis malos momentos con su ingenuidad infantil.*

*A Indira y Henry, por la comprensión y paciencia que han tenido conmigo.*

*A mi abuelita Emelia y a todos mis tíos, por estar siempre dispuestos a atenderme.*

*A mis compañeros de aula, a todos los quiero por hacerme sentir cada día que les importo.*

*A mis alumnos, que me han ayudado y me han exigido una mayor preparación intelectual y académica.*

*A mis tutores el Dr. Eduardo López Bastida y Mcs. Berlan Rodríguez Pérez.*

*A Domingo por permitirme ser su alumna ayudante.*

*A los trabajadores del INICA en especial a Muñiz, el director, que tanto me ayudó.*

*A los trabajadores de ALFICSA especialmente a Alemán y a Blanquita por ayudarme y brindarme toda la información que necesité.*

*A todos los trabajadores del MINAZ que de una forma u otra me ayudaron.*

*A todos los profesores que me han enseñando a ser mejor como persona y como profesional.*

*A Aníbal y a Gretel, por estar conmigo siempre en cada momento de la maestría.*

*A todos Muchas Gracias*

## Dedicatoria

*A mis padres, que estarán orgullosos por mis logros.*

*A mi hermana, que comienza un largo camino de estudios y se que esto la impulsará.*

*A mi sobrina, que tiene cuatro años y espero que algún día siga mis pasos.*

---

**Síntesis**

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) constituye hoy en día una de las principales herramientas para valorar el desarrollo sostenible de las distintas producciones y servicios. El presente trabajo aplica esta metodología al proceso de producción de alcohol en la Empresa Mixta de Alcoholes Finos de Caña ALFICSA ubicada en Aguada de Pasajeros; para ello primeramente se realiza un análisis crítico de bibliografías relacionadas con el tema fundamentalmente la serie de normas NC-ISO 14 040, lo que permite proponer las técnicas más adecuadas que conllevan a la definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto ambiental y análisis de mejoras. Una vez definida la metodología se procede a validar con los datos del cultivo de la caña, producción de melaza o miel B y elaboración de alcohol; determinando que los principales problemas ambientales están concentrados en la respiración de sustancias inorgánicas por la emisión de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el calentamiento global por emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), generadas por la combustión de petróleo crudo cubano en el generador de vapor. Se proponen medidas de mejora para disminuir estos impactos basadas en la sustitución del vapor de crudo por el vapor de bagazo sobrante del CAI “Antonio Sánchez” y la instalación de dos plantas recuperadoras de  $\text{CO}_2$ , las cuáles se justifican económica, técnica y ambientalmente. Se finaliza con un conjunto de conclusiones y recomendaciones para que la organización conozca cómo debe proceder ante las situaciones planteadas y qué se debe continuar haciendo.

**Tabla de Contenido****Pág.****SÍNTESIS**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                      | 8  |
| <b>CAPÍTULO I: “MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN”</b>                   | 13 |
| 1.1 – Conceptos y clasificaciones de procesos                            | 13 |
| 1.1.1 – Pasos para un enfoque por procesos                               | 15 |
| 1.2 – Sistemas Integrados de Gestión (SIG)                               | 18 |
| 1.3 – Herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV)                        | 25 |
| 1.3.1 – Normas que establecen las fases del ACV                          | 27 |
| 1.3.2 – Soporte informático aplicado al ACV                              | 29 |
| 1.3.3 – Importancia de la herramienta ACV                                | 30 |
| 1.3.4 – La incertidumbre y la subjetividad en el ACV                     | 32 |
| 1.4 – Aplicación del ACV a la Industria Azucarera en Cuba, sus derivados | 34 |
| 1.4.1 – Cultivos y descripción del proceso de producción de etanol       | 37 |
| 1.4.2 – Producción de etanol a nivel Mundial                             | 41 |
| 1.4.3 – Producción de etanol en Cuba                                     | 43 |
| Conclusiones Parciales del Capítulo I                                    | 48 |
| <b>CAPÍTULO II: “PARTE EXPERIMENTAL”</b>                                 | 50 |
| 2.1 – Descripción del objeto de estudio                                  | 50 |
| 2.1.1 – Características de la planta de alcoholes finos de caña, ALFICSA | 50 |
| 2.1.2 – Macrolocalización del proyecto                                   | 51 |
| 2.1.3 – Microlocalización del proyecto                                   | 52 |
| 2.1.4 – Caracterización socio económico y cultural                       | 52 |
| 2.2 – Problemas ambientales asociados a la producción de etanol          | 58 |
| 2.3 – Procedimiento para desarrollar un ACV                              | 59 |
| 2.3.1 – Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance del ACV           | 60 |
| 2.3.2 – Etapa 2: Análisis del inventario                                 | 64 |
| 2.3.3 – Etapa 3: Evaluación del impacto                                  | 66 |
| 2.3.3.1 – Métodos para evaluar el impacto ambiental                      | 70 |
| 2.3.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras                                     | 75 |
| Conclusiones Parciales del Capítulo II                                   | 77 |
| <b>CAPÍTULO III: “ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS”</b>                        | 79 |
| 3.1 – Etapa 1: Definición de objetivos y alcance                         | 79 |
| 3.1.1 – Objetivo del estudio                                             | 79 |

## *Tabla de Contenido*

---

|                                                                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1.2 – Alcance del estudio.....                                                                                      | 79         |
| 3.2 – Etapa 2: Análisis del inventario .....                                                                          | 81         |
| 3.2.1 – Recolectar los datos .....                                                                                    | 81         |
| 3.2.1.1 – Descripción del proceso de cultivo de la caña.....                                                          | 81         |
| 3.2.1.2 – Descripción del proceso de producción de melaza (miel B) .....                                              | 85         |
| 3.2.1.3 – Descripción del proceso de elaboración de alcohol.....                                                      | 88         |
| 3.2.2 – Construcción de los diagramas de procesos .....                                                               | 90         |
| 3.2.3 – Procesar los datos .....                                                                                      | 90         |
| 3.3 – Etapa 3: Evaluación del impacto .....                                                                           | 90         |
| 3.3.1 – Selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de la categoría y modelos de estimación..... | 92         |
| 3.3.2 – Clasificación de los resultados del análisis del inventario .....                                             | 94         |
| 3.3.3 – Cálculo de los indicadores de categoría .....                                                                 | 97         |
| 3.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras.....                                                                               | 100        |
| Conclusiones Parciales del Capítulo III .....                                                                         | 109        |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>                                                                                    | <b>112</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>                                                                                          | <b>114</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                               | <b>115</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                                                                              | <b>119</b> |
| <b>ANEXOS</b>                                                                                                         |            |

## INTRODUCCIÓN

### Introducción

La preocupación mundial por la degradación del medio ambiente ha llevado a una intensa presión por parte de las comunidades, las ONG y la opinión pública en general por los efectos de las actividades económicas sobre el entorno natural y sobre la sostenibilidad del desarrollo global. (Sánchez, 2007)

La sustentabilidad, es un término que ha sido adoptado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), como el principal objetivo político para el desarrollo futuro de la humanidad. En la conferencia de Río de Janeiro, en 1992, se estableció que el desarrollo sustentable es la tarea más importante del siglo XXI.

En el año 2002, los líderes de varios gobiernos del mundo y representantes de la industria y la sociedad civil se reunieron en el encuentro mundial para el Desarrollo Sustentable en Johannesburgo. En esta reunión los participantes analizaron las fallas y los éxitos de los últimos treinta años, anticipando los compromisos y los obstáculos que tendrá la humanidad en relación a los desafíos del Desarrollo Sustentable. Uno de los resultados de esta reunión, es un Plan de Implementación para cambiar los patrones no sustentables de consumo y producción. Entre los elementos del plan hay un llamado para: *“mejorar los productos y servicios a la vez que se reducen los impactos en salud y medio ambiente, usando donde sea apropiado, modelos científicos como el análisis de ciclo de vida (ACV)”*. (Suppen, 2007)

En los últimos años, el PNUMA y la SETAC, por medio de grupos de trabajo buscan unificar las metodologías utilizadas en el mundo en las áreas de inventario de ciclo de vida, la evaluación de impacto de ciclo de vida y la administración (*Life Cycle Management*), en la llamada Iniciativa de Ciclo de Vida (*Life Cycle Initiative*). Esta iniciativa toma como base los estándares de ISO 14040 y busca establecer enfoques de mejores prácticas para una economía de ciclo de vida.

En Cuba desde 1998 el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente ha venido realizando esfuerzos para promover, introducir e implementar estrategias de producción acordes con las normas internacionales en los sectores prioritarios de la economía, enfocando sus productos a la eco-eficiencia y el desarrollo sostenible.

La industria química ha estado permanentemente bajo la mira debido a que es una de las mayores contaminantes del aire y de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Los gobiernos han implementado legislaciones que regulan el vertido de contaminantes; pero no han considerado el medio ambiente desde una perspectiva global, por lo que en muchos casos la reducción de descargas en una zona implica la sobreexplotación de un recurso natural en otra. Se hace necesario, entonces, considerar el impacto que sobre el medio ambiente tiene la producción de

diferentes artículos, materiales y servicios, a partir de un enfoque holístico, es decir, que considere todos los componentes involucrados desde la extracción de las materias primas hasta la disposición de los productos. Precisamente para ello se desarrolla la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad; identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los residuos que genera; es una herramienta que permite lograr el desarrollo sostenible y la ecoeficiencia de las producciones y servicios.

Para satisfacer la demanda que existía en Cuba de diversos productos de perfumería, medicamentos, bebidas, etc., surgió la creación de una industria de producción de alcohol en el territorio de Covadonga y debido a esto se crea el proyecto original de la “Destilería del Alcohol Rectificado de Miele”, que comenzó la ejecución en el año 1997 del proyecto ejecutivo de 50000 litros de alcohol puro diario, y se logró en el año 1999 financiamiento y aprobación para concluirlo con la capacidad de 90000 litros, comenzando su producción física en el año 2000.

ALFICSA es una empresa mixta Cubano-Española que combina los últimos avances tecnológicos y el cuidado del medio ambiente, el cual constituye la **situación problemática**, porque:

- No se evalúa el impacto ambiental de la producción de etanol de caña a partir de un enfoque holístico, es decir, que considere todos los componentes involucrados desde el cultivo de la caña hasta la elaboración y uso del producto final.
- En cada fase del proceso de producción de etanol están identificadas las fuentes de contaminación atmosféricas:
  - Consumo de más de 3000t de Diesel para las labores de cultivo.
  - Generación de 11 518L al día de residuales líquidos, con un alto grado de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y acidez.
  - Consumo diario de 26.82t de Petróleo Crudo nacional, caracterizado por un alto % de azufre, viscosidad y aftalenos.
  - Emisión diaria de 60t de CO<sub>2</sub> producto de la fermentación.
- No está cuantificado el impacto generado por estas sustancias a las distintas categorías que pueden ser evaluadas: respiración de inorgánicos, uso de la tierra, uso de combustibles fósiles, calentamiento global, acidificación, eutroficación, ecotoxicidad y otras.

Según lo antes expuesto se plantea el problema científico de la investigación.

### **Problema Científico:**

¿Cómo identificar y cuantificar los principales impactos generados en el ciclo de vida del etanol y proponer mejoras que tengan factibilidad ambiental, económica y técnica, aplicando un procedimiento basado en las normas NC-ISO 14 000?

### **Hipótesis:**

Si se aplica un procedimiento de análisis de ciclo de vida se logrará analizar el impacto ambiental de la producción de alcohol a partir de un enfoque holístico, permitiendo así proponer variantes de mejora ambiental.

### **Objetivo General:**

Analizar el ciclo de vida del alcohol de ALFICSA aplicando un procedimiento de evaluación de impacto ambiental basada en la serie de normas NC-ISO 14 040.

Para el cumplimiento de este objetivo se desarrollan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar un análisis crítico de bibliografía relacionada con la herramienta de análisis de ciclo de vida.
2. Estructurar un procedimiento basado en las normas NC-ISO 14 000 sobre ciclo de vida para evaluar el impacto del ciclo de vida del alcohol.
3. Aplicar dicho procedimiento al ciclo de vida del etanol de caña de azúcar de ALFICSA.
4. Valorar variantes de mejora ambiental en la empresa objeto de estudio a partir de alternativas posibles de aplicar por la misma.

Para darle cumplimiento a estos objetivos se utilizan técnicas para la búsqueda de información: revisión crítica de información secundaria, trabajo con expertos, consulta de documentos como instructivos técnicos del cultivo de la caña de azúcar, manuales de elaboración de alcohol y las normas de ACV de la NC-ISO 14 040 a la NC-ISO 14 043. Además se utilizan diagramas de flujo para la representación de los procesos, y se emplea el software para ACV: SimaPro 7.1.

Al concluir la investigación, queda estructurada de la siguiente manera:

### Capítulo I: Marco teórico

En este capítulo se abordan los elementos necesarios para la fundamentación de la investigación tales como Gestión por Procesos, Sistemas de Gestión Integrados, Análisis de

Ciclo de Vida y elaboración de alcohol como derivado de la caña de azúcar desde una perspectiva global a un plano específico.

### Capítulo II: Parte experimental

Se desarrolla una caracterización de la empresa mixta de alcoholes finos ALFICSA y se estructura una metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del alcohol basada en las normas NC-ISO 14 040.

### Capítulo III: Análisis de los resultados.

En este último capítulo se desarrolla la metodología propuesta para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del alcohol en la empresa ALFICSA, se comparan diferentes métodos de evaluación ambiental, se cuantifican e identifican las categorías de impacto afectadas y se valoran variantes de mejora ambiental para la producción de alcohol en la empresa objeto de estudio, comprobándose la factibilidad ambiental, económica y técnica de las mismas.

## **CAPÍTULO I**

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

### **Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”**

En el desarrollo de este capítulo se abordan los conceptos necesarios para una gestión por procesos, dentro de las herramientas que se enfocan a los procesos se encuentra el Sistema de Gestión Integrado, donde se interrelacionan la gestión de la calidad, la gestión de la seguridad y la gestión ambiental; como uno de los instrumentos que más se está fomentando su utilización para la gestión ambiental y determinación de los impactos ambientales agrupados por categorías se encuentra el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Según la revisión bibliográfica se aportan conceptos y la importancia de la herramienta ACV; y luego se argumenta sobre su necesaria aplicación en la Industria Azucarera en Cuba y sus derivados, específicamente en la producción de alcohol por la demanda mundial que está presentando este producto como biocombustible.

En el Anexo No. 1 se organiza el hilo conductor, donde se organizan todos los temas abordados en este capítulo.

#### **1.1 – Conceptos y clasificaciones de procesos**

Las actividades de cualquier organización pueden ser concebidas como integrantes de un proceso determinado. Los procesos son la base operativa de las organizaciones y son posiblemente el elemento más importante y extendido en la gestión de las empresas innovadoras.

Un proceso puede ser definido como:

“Conjunto de actividades interrelacionadas entre sí que, a partir de una o varias entradas de materiales o información, dan lugar a una o varias salidas también de materiales o información con valor añadido. En otras palabras, es la manera en la que se hacen las cosas en la organización”.<sup>1</sup>(Saballo Daniel, 2005)

“Secuencias ordenadas y lógicas de actividades de transformación, que parten de unas entradas (informaciones en un sentido amplio —pedidos datos, especificaciones—, más medios materiales —máquinas, equipos, materias primas, consumibles, etcétera) —, para alcanzar unos resultados programados, que se entregan a quienes los han solicitado, los clientes de cada proceso”. (Zaratiegui, 1999)

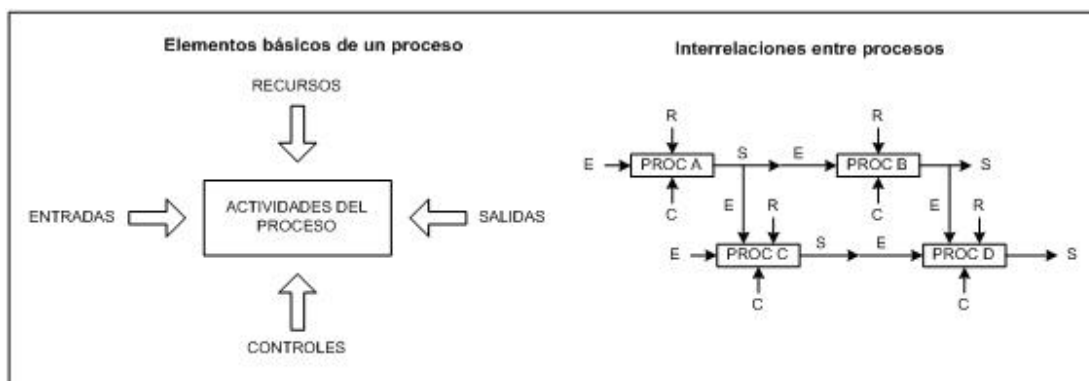
“Una actividad que utiliza recursos y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados”. (NC-ISO9000, 2001)

---

<sup>1</sup> Navarro E. (2000). Improven Consultores, Valencia, España.

## Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”

Cualquier actividad, o conjunto de actividades ligadas entre sí, que utiliza recursos y controles para transformar elementos de entrada (especificaciones, recursos, información, servicios,...) en resultados (otras informaciones, servicios,...) puede considerarse como un proceso. Los resultados de un proceso han de tener un valor añadido respecto a las entradas y pueden constituir directamente elementos de entrada del siguiente proceso, como se muestra en la Figura No. 1.1.(Fomento, 2005)



**Figura No. 1.1** – Representación gráfica de la interrelación de procesos.

**Fuente:** (Fomento, 2005)

Según los conceptos anteriores se deriva que un proceso no es más que la sucesión ordenada y lógica de actividades interrelacionadas, que transforman las entradas necesarias para producir un producto o brindar un servicio.

Existen diversas categorías de procesos, pero generalmente se clasifican en: estratégicos, clave y de apoyo.<sup>2</sup>(Pérez Rave, 2007)

Los procesos claves, también conocidos como procesos primarios, críticos o misionales, son aquellos que inciden directamente en la satisfacción de los clientes y están estrechamente asociados a la razón de ser de la organización. En el ámbito del trabajo de campo, estos procesos pueden interpretarse como aquellos directamente relacionados con la actividad investigativa.

Los procesos de apoyo son los encargados de apoyar y respaldar a los procesos clave, de modo que éstos puedan cumplir con la misión que los caracteriza. Haciendo énfasis en el trabajo de campo, la gestión de recursos, de contratos y de viajes, corresponden a procesos de apoyo, pues no aportan valor, sino que son necesarios para el buen funcionamiento de los procesos clave.

<sup>2</sup> L. Dueñas, H. García y J. Espinoza (2004). "Caracterización de un Sistema de Gestión de Información Científico Tecnológica con enfoque a procesos: garantía para la mejora continua. Estudio de caso"

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

La categoría de procesos estratégicos hace referencia a aquellos encargados del pilotaje de la organización, éstos permiten definir la estrategia, los objetivos y las políticas, y desplegarlas a los diferentes niveles de la organización.

### **1.1.1 – Pasos para un enfoque por procesos**

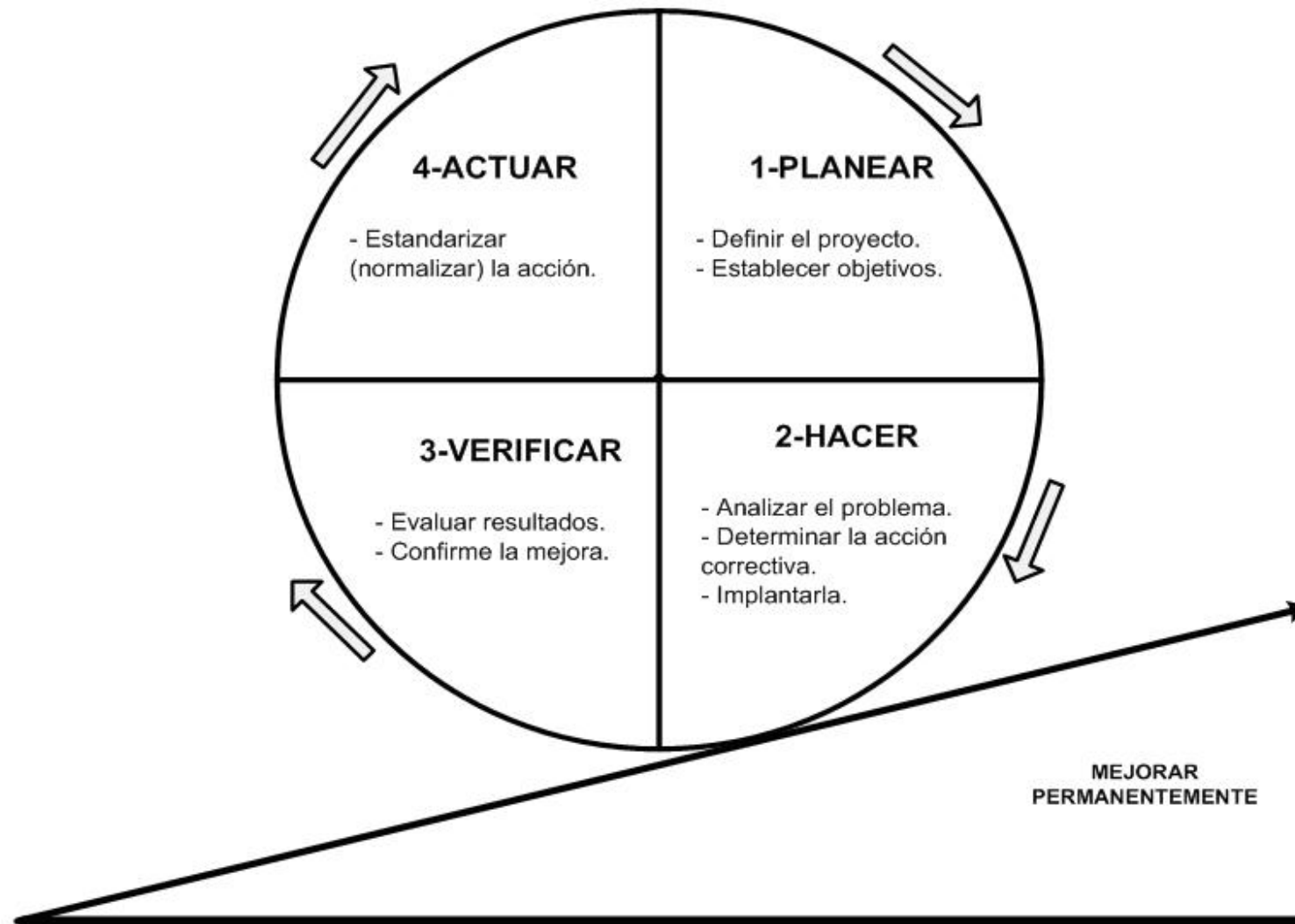
Los procesos constituyen medios muy útiles para transformar la empresa y adecuarse al mercado, por esto la gestión de los procesos da paso de modo gradual a la Gestión por Procesos, adquiriendo una connotación nueva, la que supone la estructura a la empresa como un sistema integral de procesos que son la base para los cambios estratégicos en la organización.

Varios autores consultados ofrecen en sus obras sus criterios sobre la gestión por procesos, en esta investigación se presentan algunos de los conceptos en el Anexo No. 2, dentro de estos Amozarrain (1999) define en forma detallada los conceptos fundamentales relacionados con este enfoque de gestión, (existiendo plena coincidencia con estos por parte del autor del presente trabajo) que resultan necesarios considerar para facilitar su identificación, selección y estudio.

El enfoque por procesos conlleva a concebir la organización como un sistema compuesto por un conjunto de procesos interrelacionados que buscan un objetivo global que cumplir. Este enfoque consiste en identificar los procesos y sus interrelaciones, para girar el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) sobre ellos y mejorar su efectividad, a fin de satisfacer las necesidades de todas las partes interesadas. En la Figura No. 1.2 se puede observar el esquema del ciclo PHVA.

Según la revisión de los criterios desarrollados por (Lorino, 1993; Harrington, 1997; Trischler, 1998; Zaratiegui, 1999; Amozarrain, 1999; Ortega Rodríguez, 2002; Nogueira Rivera, 2002), es posible resumir que el enfoque en procesos se fundamenta en: (Negrín Sosa, 2004)

- La estructuración de la organización sobre la base de procesos orientados a clientes.
- El cambio de la estructura organizativa de jerárquica a plana.
- Los departamentos funcionales pierden su razón de ser y existen grupos multidisciplinarios trabajando sobre el proceso.
- Los empleados se concentran más en las necesidades de sus clientes y menos en los estándares establecidos por su jefe.
- Utilización de tecnologías para eliminar actividades que no añadan valor.



**Figura No. 1.2** – Ciclo de mejora PHVA.

**Fuente:** (Beltrán Sanz, 2000)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

Algunas de las ventajas de su aplicación son las siguientes: (Negrín Sosa, 2004)

- Alinea los objetivos de la organización con las expectativas y necesidades de los clientes.
- Muestra como se crea valor en la organización.
- Señala como están estructurados los flujos de información y materiales.
- Indica como realmente se realiza el trabajo y como se articulan las relaciones proveedor cliente entre funciones.

Las actuaciones a emprender por parte de una organización para dotar de un enfoque basado en procesos se pueden efectuar en cuatro grandes pasos: (Beltrán Sanz, 2000)

### 1. Identificación y secuencia de los pasos.

La identificación y selección de los procesos a formar parte de la estructura de procesos debe nacer de una reflexión acerca de las actividades que se desarrollan en la organización y de cómo éstas influyen y se orientan a la consecución de los resultados; se puede recurrir a diferentes herramientas de gestión, pudiendo aplicar técnicas de “*Brainstorming*”, dinámica de equipos de trabajo, etc.

### 2. Descripción de cada uno de los procesos.

La descripción de un proceso tiene como finalidad determinar los criterios y métodos para asegurar que las actividades que comprende dicho proceso se llevan a cabo de manera eficaz, al igual que el control del mismo. Esto implica que la descripción de un proceso se debe centrar en las actividades, así como en todas aquellas características relevantes que permitan el control de las mismas y la gestión del proceso.

### 3. Seguimiento y medición para conocer los resultados que se obtienen.

El enfoque basado en procesos de los sistemas de gestión pone de manifiesto la importancia de llevar a cabo un seguimiento y medición de los procesos con el fin de conocer los resultados que se están obteniendo y si estos resultados cubren los objetivos previstos.

El seguimiento y la medición, con el planteamiento y cálculo de indicadores, constituyen la base para saber que se está obteniendo, en qué extensión se cumplen los resultados deseados y por dónde se deben orientar las mejoras

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

### 4. Mejora de los procesos con base en el seguimiento y medición realizado.

Los datos recopilados del seguimiento y la medición de los procesos deben ser analizados con el fin de conocer las características y la evolución de los procesos. De este análisis de datos se debe obtener la información relevante para conocer:

- Qué procesos no alcanzan los resultados planificados.
- Dónde existen oportunidades de mejora.

Innumerables son los procedimientos y herramientas que, se encuentran en la literatura especializada vinculadas con los procesos, y que reconocen a éstos, y su vinculación con las actividades, como un elemento esencial hacia y para la competitividad. Se refleja, así, su estrecha relación con dichas herramientas, filosofías o más generalmente expresado como tendencias actuales de amplia difusión en el mundo empresarial contemporáneo, a saber: el Modelo EFQM, el Cuadro de Mando Integral (BSC), la mejora continua, las Normas ISO, el *Benchmarking*, el uso de metodologías para la determinación de los Sistemas de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP), la gestión por el conocimiento, la gestión por competencias, sistemas integrados de gestión, etcétera (ver Figura No. 1.3). Todas ellas, de una u otra forma, han referido la necesidad de desarrollar el “enfoque de procesos” a la hora de concebir una empresa exitosa y tributan a la mejora de los mismos.

### **1.2 – Sistemas Integrados de Gestión (SIG)**

La certificación según las normas de Calidad ISO 9000 se está convirtiendo en un requisito indispensable para que las empresas compitan en el mercado. También se ha visto una mayor preocupación por la Seguridad con el fin de prevenir los riesgos laborales en las empresas debido a que es el operario el motor impulsor de toda organización. Además, el Medio Ambiente se está incorporando como una variable adicional a la competitividad de las empresas, influyendo de una forma cada vez más notable en sus relaciones con clientes y proveedores.

Desde esta perspectiva, la Integración de los Sistemas de Gestión de Medio Ambiente, de la Calidad y la Seguridad se presenta como una alternativa válida y necesaria para que las organizaciones puedan afrontar con éxito los retos que les depara el siglo XXI.

Se puede definir el Sistema de Gestión Integrada como “el conjunto de la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día la política de la empresa”. (González Glez, 2006)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

De este modo, el SGI se aplica a todas las actividades relativas a la calidad de un producto o servicio, a las que presenten riesgos para la sociedad y a aquellas que puedan dañar el medio ambiente, existiendo una influencia mutua entre ellas, como se muestra en la Figura No. 1.4.

Estas tres líneas de actuación, calidad, medioambiente y prevención de riesgos, aparentemente diferentes, en la práctica industrial, suelen concurrir en un solo departamento, servicio, cargo o área, según el tamaño de la organización y constituyen la base sobre la que se deberían asentar los principios de cualquier empresa.

El excesivo número de procedimientos, la burocracia generada y su implantación en la organización podrían ocasionar más problemas que soluciones, reflejándose en un aumento de los costos y en una pérdida de competitividad, si dicha implantación no se realiza de forma adecuada.

La integración de estos tres modelos de gestión en un único sistema de gestión es un proceso natural con inercia propia, que puede proporcionar a la empresa el marco de referencia para alcanzar sus objetivos y situarse en una posición ventajosa y competitiva dentro de su campo de actuación.

El Modelo de Gestión Integrada toma como punto de partida aquellos requisitos de las normas ISO 9000, ISO 14000 e ISO 18000 que se encuentran directamente interrelacionados como son: (González Glez, 2006)

- ✓ Compromiso por parte de la Dirección y el reflejo en toda la organización.

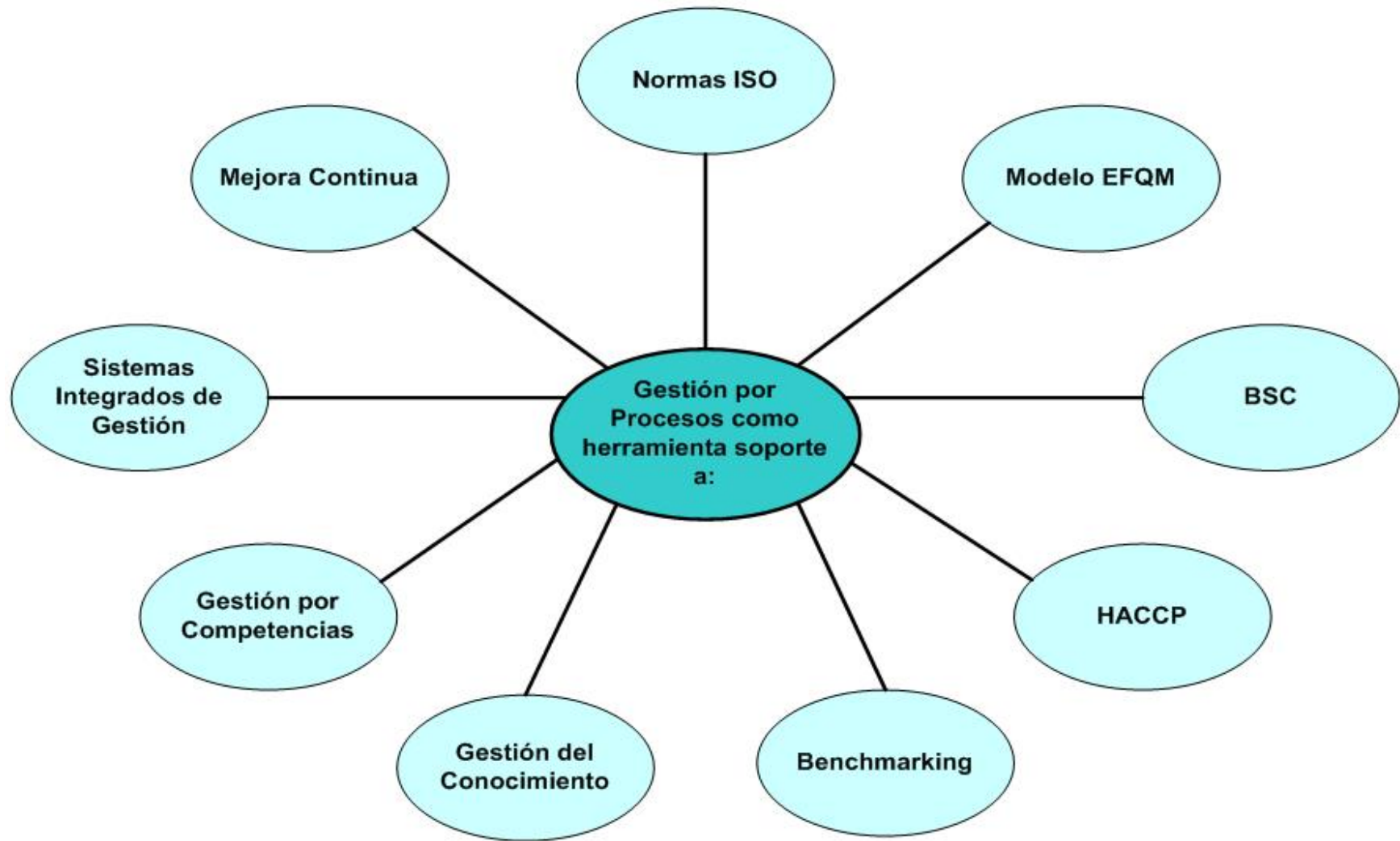
El desarrollo y éxito en la implantación del Sistema de Gestión Integrada depende en gran medida del nivel de implicación demostrado por la Dirección y en función de dicho nivel esta la responsabilidad que se logre inculcar al personal de la empresa.

- ✓ Carácter preventivo

El SGI tiene una tendencia claramente preventiva, anticipándose a cualquier acción correctiva consecuencia de un efecto medioambiental no controlado o una mala calidad.

- ✓ Se sigue la metodología del ciclo PHVA

Este método ya desarrollado y aplicado en la Calidad y ahora utilizado en el ámbito del Medio Ambiente, se basa en la rueda de Deming en la que la gestión toma forma, concentrándose en la definición de objetivos, evaluación de la situación actual, implantación de un plan o programa, medición y seguimiento, auditorías y revisión.



**Figura No. 1.3** – Herramientas que utilizan el enfoque por procesos. **Fuente:**(García Azcanio, 2008)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

### ✓ Enfoque a procesos

El desarrollo de este enfoque se basa en que cualquier actividad, o conjunto de actividades, que utiliza recursos para transformar elementos de entrada en resultados puede considerarse como un proceso y que para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar los procesos interrelacionados.

### ✓ Comunicación

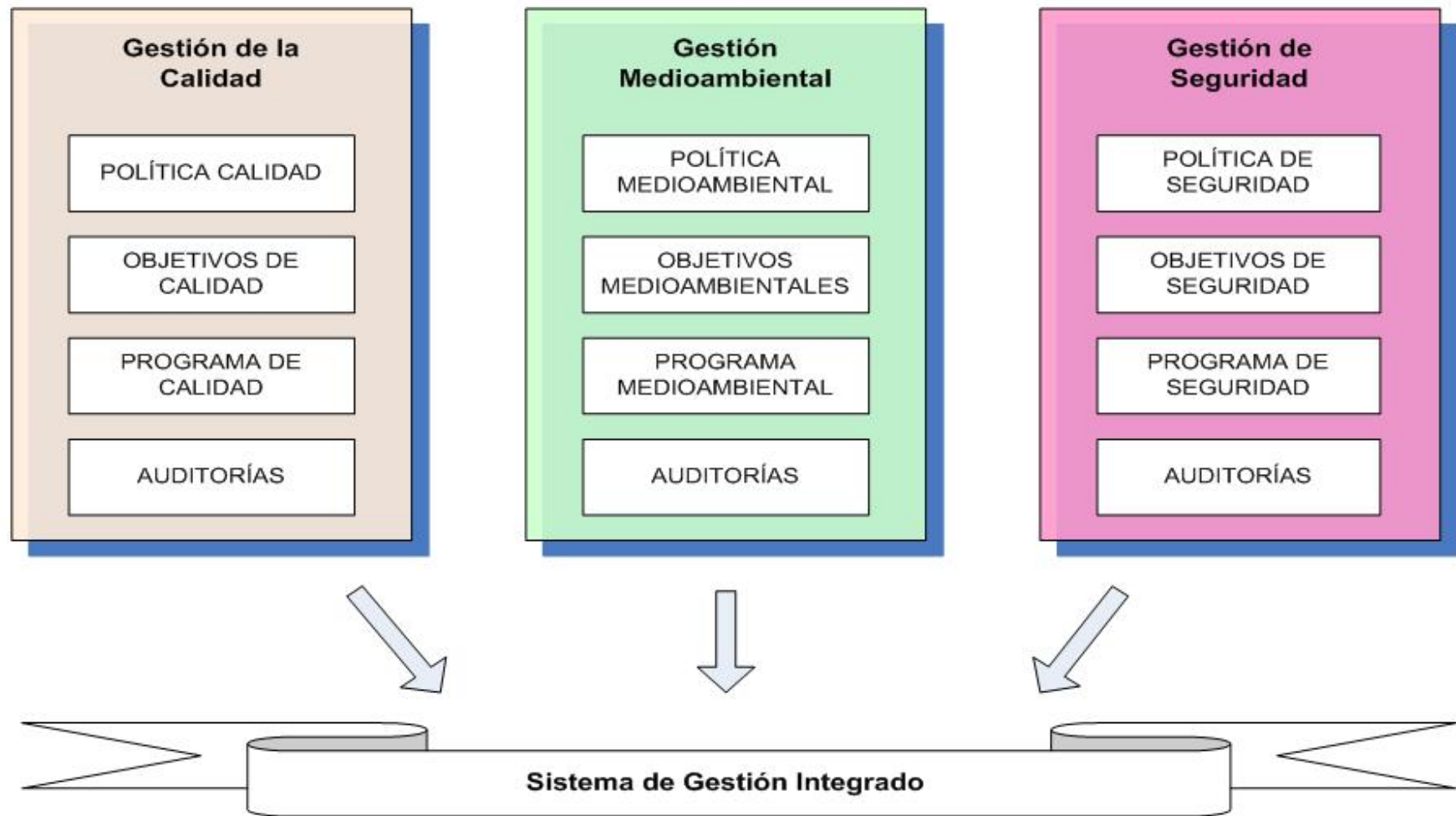
La organización debe lograr que se conozcan los objetivos, el comportamiento de su cumplimiento y las vías para lograrlo, siendo la comunicación la base para lograrlo y la misma permite además concienciar sobre la importancia del SGI y del seguimiento de sus procedimientos. Una comunicación eficaz permite el conocimiento de las necesidades y expectativas de todos los grupos de interesados y la retroalimentación de estos.

### **1.2.1 – Gestión ambiental, instrumentos más utilizados**

Se entiende como gestión ambiental al conjunto de acciones emprendidas por la sociedad, o parte de ella, con el fin de proteger el medio ambiente. Sus propósitos están dirigidos a modificar una situación actual a otra deseada, de conformidad a la percepción que sobre ella tengan los actores involucrados. La gestión ambiental no solamente está referida al gobierno, sino que crecientemente depende de fuerzas sociales de muy diversa naturaleza. (Rodríguez Becerra, 2005)

En su concepción más amplia, la gestión ambiental es un proceso permanente y de aproximaciones sucesivas en el cual diversos actores públicos y privados y de la sociedad civil desarrollan un conjunto de esfuerzos específicos con el propósito de preservar, restaurar, conservar y utilizar de manera sustentable el medio ambiente.

Por su injerencia amplia, la gestión ambiental puede ser abordada bajo diversas perspectivas y con diferentes escalas. Por ejemplo, se puede centrar en el ámbito rural o urbano, en una política específica (ej. contaminación del aire de un centro urbano, etc.), en una amenaza ambiental global (ej. impacto de emisiones sobre el calentamiento de la tierra, etc.), en el impacto ambiental de una actividad económica específica (ej. minería, energía, agricultura, etc.), o en la conservación y uso sostenible de un recurso estratégico (ej. bosques, aguas, etc.). La gestión ambiental, por lo tanto, puede ser abordada a distintos niveles de gobierno (federal o central, provincial o estatal, municipal, etc.), o de grupos del sector privado en su concepción amplia, o en diversos ámbitos territoriales (global, regional, sub-regional, nivel metropolitano, ciudades, barrios, poblados, cuencas hidrográficas, etc.).



**Figura No. 1.4** – Esquema del Sistema de Gestión Integrado. **Fuente:** (García Vílchez, 2004)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

Las consideraciones ambientales han evolucionado a través de los años con el fin de diseñar un producto o un servicio con el que se logre el desarrollo sostenible: desarrollo económico y social que tiene lugar sin detrimento del medio ambiente ni de los recursos naturales de los cuáles dependen las actividades humanas y el desarrollo, del presente y del futuro.

En la Figura No. 1.5 se observa la evolución de las consideraciones ambientales encaminadas hacia un producto y un consumo sostenible.

Estrechamente ligada al desarrollo sostenible se encuentra la eco-eficiencia ya que equivale a optimizar tres objetivos: **crecimiento económico**, **equidad social** y **valor ecológico**. Es el principal medio a través del cual las empresas contribuyen al desarrollo sostenible y al mismo tiempo consiguen incrementar su competitividad. Este concepto significa añadir cada vez más valor a los productos y servicios, consumiendo menos materias primas, generando cada vez menos contaminación a través de procedimientos ecológica y económicamente eficientes y previniendo los riesgos.

Con el propósito general de mejorar el comportamiento ambiental, se desarrollan un conjunto de estructuras o instrumentos sistemáticos para mejorar la gestión de la información y la toma de decisiones, conocidos generalmente como instrumentos de gestión ambiental. No existe una línea divisoria bien definida entre los diferentes instrumentos, ya que han evolucionado independientemente, han aumentando su alcance y profundidad, y sus objetivos generales son parecidos.

Los instrumentos que se han instituido para abordar los problemas medioambientales, o sea, para gestionar el medio ambiente atienden según el estadio temporal de su aplicación a dos tipos definidos: preventivos y correctivos.<sup>3</sup> (Domínguez, 2006)

Hoy en día hay una conciencia internacional, tanto a nivel político como técnico, en la necesidad de adoptar políticas de tipo preventivo, postergando las de tipo correctivo para los casos en que son la única y última alternativa posible.

Dentro de los preventivos se encuentra el Estudio de Impacto Ambiental, la Calidad Total, la Planificación, la Innovación Tecnológica, la Educación Ambiental, etc. y dentro de los correctivos está el etiquetado ecológico, los eco-balances (cuyo exponente principal son las tendencias de Análisis de Ciclos de Vida), la Auditoría Ambiental, entre otras.

---

<sup>3</sup> Díaz, 2005. “Desarrollo de una herramienta computacional que permita realizar los balances de materiales y energía necesarios para la implementación de una herramienta de gestión ambiental en un central azucarero”

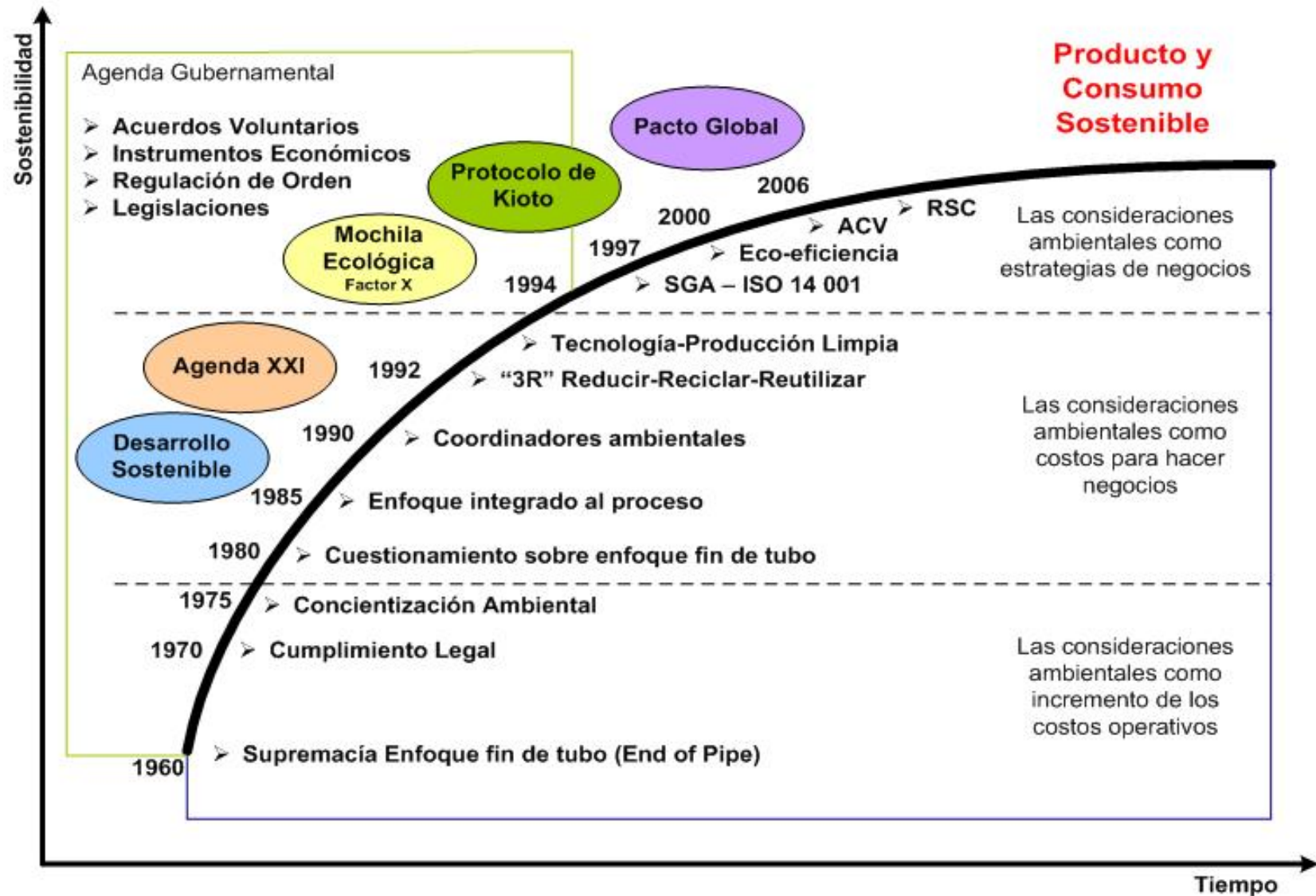


Figura No. 1.5 – Pasos para el desarrollo sostenible. Fuente: (Carranza, 2008)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

Además de preventivos y correctivos ellos pueden clasificarse de la siguiente manera:<sup>4</sup> (Domínguez, 2006)

- Aquellos que se concentran en procesos u operaciones de fabricación, usualmente sobre una planta industrial específica. Dentro de esta clasificación se encuentra el Estudio de Impacto Ambiental, el Análisis de Riesgo Industrial y la Auditoría Ambiental entre otras.
- Cubren toda una cadena o sistema de producción que permite la existencia de un servicio o de un producto. En esta clasificación se incluyen como principales exponentes el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el Análisis de Flujo de Sustancia, el Análisis de Línea del Producto y el Análisis de la Intensidad de Recursos por Unidad de Servicio entre otras.

Los conceptos mencionados son instrumentos desarrollados para alcanzar un objetivo común el desarrollo sostenible y en el caso específico del ACV se logra el desarrollo sostenible y la eco-eficiencia.

En el Anexo No. 3 se presentan, de forma resumida, los objetivos, puntos fuertes y débiles de las metodologías descritas. En ella puede verse la potencialidad del ACV como herramienta para gestionar los aspectos medioambientales, especialmente por su adecuación a aquellos estudios que tengan como base conceptual el ciclo de vida del producto o servicio, permitiendo disminuir la contaminación que la industria genera en todo su ciclo de vida y a su vez consigue minimizar el consumo de recursos sin olvidar los parámetros de calidad del producto final.

### **1.3 – Herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

Es una herramienta de gestión ambiental que brinda una base sólida para que la dirección de una organización pueda tomar decisiones técnicas adecuadas con base en las cuestiones que podrían plantearse sobre el lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de productos existentes, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental y que sigan realizando igualmente la función para la que fueron programados.

En el concepto de desempeño ambiental del producto se encuadran temas tales como su diseño, los procesos de fabricación, los medios de transporte, el tipo de energía necesaria en las distintas etapas de su ciclo de vida, las recomendaciones para su uso y la forma y el momento para su disposición final, si es que antes no se le recicla o reúsa. En la medida en que, por la aplicación del ACV, se identifiquen oportunidades de mejora y se implementen

---

<sup>4</sup> Fulana y Puig, 1997. “Análisis de ciclos de vida”

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

efectivamente en el producto, también se habrá logrado una mejora en el desempeño ambiental de ese producto.

El análisis del ciclo de vida se define como la herramienta adecuada para “la recopilación y valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema de producción o servicio a lo largo de su ciclo de vida”. (NC-ISO14040, 1999)

Conceptualmente este método se mantiene en natural y constante desarrollo, pues a medida que son divulgados nuevos trabajos prácticos con su aplicación, se intercambian informaciones entre usuarios de ésta metodología. Todo ello implica un constante proceso de retroalimentación evolutiva en el método, a ejemplo de lo ocurrido anteriormente con otras metodologías de gestión. Su desarrollo empezó con variables ambientales y ahora se mejora y amplía con variables económicas y sociales para atender el desarrollo sostenible y la eco-eficiencia.

En la bibliografía consultada se encuentran diferentes conceptos, algunos de los cuales se destacan en el Anexo No. 4, de acuerdo a estos el autor considera que la definición planteada en la NC-ISO 14 040 está bien detallada y fundamentada sobre la base de los objetivos que se logran al aplicar la herramienta siguiendo cada una de sus fases.

El ACV ha evolucionado y enriquecido progresivamente, debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de las distintas producciones que tienen lugar en la actualidad, a continuación se describe brevemente la evolución de esta herramienta.

El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa. El primer ACV fue realizado en 1969 por el *Midwest Research Institute* (MRI) para la Coca-Cola, donde la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos y, por lo tanto, disminuir la cantidad de emisiones al ambiente. Los estudios continuaron durante los años setenta, y grupos como *Franklin Associates Ltd.* junto con la MRI realizaron más de 60 análisis usando métodos de balance de entradas/salidas e incorporando cálculos de energía.

La *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) es la principal organización que ha desarrollado y liderado las discusiones científicas acerca del ACV. En 1993, formula el primer código internacional: Código de prácticas para el ACV (*Code of Practice for Life Cycle Assessment*), con el fin de homogeneizar los diversos estudios realizados para que siguieran una misma metodología. Esto impulsa el inicio de desarrollos masivos de ACV en diversas áreas de interés mundial, pues se realizaron conferencias, talleres y políticas sobre ACV.

## Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”

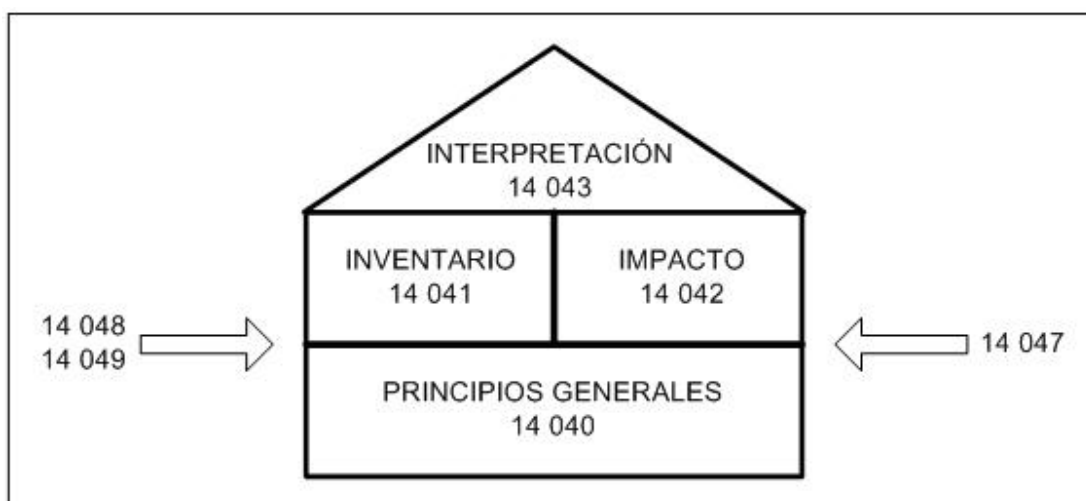
Posteriormente, la ISO apoyó este desarrollo para establecer una estructura de trabajo, uniformizar métodos, procedimientos, y terminologías, debido a que cada vez se agregaban nuevas etapas, se creaban metodologías, índices, programas computacionales dedicados a realizar ACV en plantas industriales, etc.

Después de treinta años el ACV ha tenido un avance impresionante, sin embargo, se reconoce que la técnica está en una etapa temprana de su desarrollo. Muchos ACV realizados han sido parciales (sólo se ha practicado la fase de inventario) y aplicados mayoritariamente al sector de envases (aproximadamente un 50%), seguidos de los de la industria química y del plástico, los materiales de construcción y sistemas energéticos, y otros menores como los de pañales, residuos, etc. Sólo en los últimos años se ha podido introducir la fase de evaluación de impacto en los estudios realizados.

En el Anexo No. 5 se presenta una cronología detallada del ACV desde sus inicios hasta la actualidad.

### 1.3.1 – Normas que establecen las fases del ACV

La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales, que están representadas por las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043 (ver Figura No. 1.6).



**Figura 1.6 – Estructura del ACV<sup>5</sup>. Fuente:** (Romero Rodríguez, 2004)

En la norma ISO14040, se establecen los fundamentos de la Evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del

<sup>5</sup> Trama y Troiano, (2002)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

informe y el proceso de revisión crítica. Mientras que en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del ACV.

Actualmente se encuentran en preparación la norma ISO/ TR14047 (sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14042), y la norma ISO14048 (sobre el formato para la documentación de datos para el ACV). Así como el reporte técnico ISO/TR14049 que versa sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14041.<sup>6</sup> (Romero Rodríguez, 2004)

La metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia más o menos definida, aunque en ocasiones es posible realizar un estudio no tan ambicioso obviando alguna fase.

En la ISO 14 040 se describen las cuatro fases del ACV: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto, interpretación de resultados. En la Figura No. 1.7 se pueden observar las cuatro fases tal y como se aplican actualmente: (Suppen, 2007)

1. Marco metodológico, que incluye la definición de objetivo y alcances, función, unidad funcional y fronteras del sistema.
2. Análisis de inventario (inventario del ciclo de vida - ICV). En esta parte se desarrolla un diagrama de flujo (árbol de procesos), además se identifican y cuantifican las entradas y salidas de cada etapa del ciclo de vida.
3. Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV). Consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las salidas y el medio ambiente a partir de la interpretación de la información generada en el análisis del ICV, clasificando los efectos al medio ambiente en diferentes categorías de impacto ambiental y modelando indicadores para cada categoría.
4. Interpretación / Evaluación de mejoras. Se busca, a partir de las consecuencias ocasionadas por las entradas y salidas, establecer prioridades para la búsqueda de mejoras en el sistema.

---

<sup>6</sup> Marsmann, (2000)



**Figura No. 1.7** – Etapas del análisis del ciclo de vida. **Fuente:** (Suppen, 2007)

En la estructura metodológica del ACV existen dos partes fundamentales: el inventario de ciclo de vida en donde se calculan todos los impactos durante el ciclo de vida y la evaluación de impacto de ciclo de vida (el modelo de asignación), en donde se relacionan los impactos con los problemas ambientales con el fin de obtener un eco-indicador. Con esta metodología de asignación se relaciona primero el impacto con un factor de contribución al problema ambiental definido en la metodología y en la segunda parte del modelo de asignación se prioriza entre los problemas ambientales.

Para llegar de las categorías (problemas ambientales) a un indicador (enfoque de daños) se aplica una evaluación, por paneles de expertos, para determinar la importancia de las categorías supuestas. Es allí donde se centran las críticas a los diferentes modelos del enfoque de daños, por ser modelos de carácter subjetivo. Existen diferentes modelos reconocidos para la asignación de datos para diferentes categorías (ver Anexo No. 6), viéndose que el Impact 2002+ es un método completo respecto al resto.

### 1.3.2 – Soporte informático aplicado al ACV

Los pasos operativos para que se lleve a cabo el análisis de ciclo de vida de un sistema o producto, incluyen el manejo de gran cantidad de datos de los inventarios, seguidos de diversas operaciones de cálculos que se aplican a los factores de caracterización, índices de categoría, etc., como se ha indicado en apartados anteriores. Estos aspectos son más viables con el soporte de sistemas informáticos que faciliten las tareas a realizar.

En la selección de de estos programas, deben considerarse dos aspectos importantes: (Cardim de

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

Carvalho Filho, 2001)

1. Inventarios que incorpora (específicamente en el ámbito en el que se quieren llevar a cabo los ACV's)
2. Calidad en la gestión de datos, incluyendo en este concepto:
  - la facilidad en la introducción de los datos de entrada para los diferentes ACV's que se planteen;
  - la flexibilidad en el uso, actualización, sustitución, adición, etc. de datos de inventarios y, en especial, la posibilidad de añadir inventarios nuevos;
  - la fiabilidad en los cálculos realizados y en el seguimiento de los mismos, siendo en este punto de vital importancia la posibilidad y facilidad de conocer el origen de cualquier resultado (trazabilidad);
  - la realización de todas las fases de cálculo de un ACV; y,
  - el tipo de salida de resultados (tablas / gráficas) y su flexibilidad.

De acuerdo con lo anterior, la calidad de los inventarios y la flexibilidad de estas bases de datos marcan la diferencia con los programas existentes, al considerar que, en buena medida, la fidelidad de estos inventarios, con el sistema o producto analizado, influencia directamente en la calidad de los resultados finales del ACV.

En el Anexo No. 7 se destacan las herramientas informáticas útiles para realizar un Análisis de Ciclo de Vida.

### **1.3.3 – Importancia de la herramienta ACV**

Conforme los especialistas, la ACV es una herramienta importante en la obtención de informaciones detalladas para el proceso de toma de decisiones en ingeniería. Así, si existe la oportunidad de escoger entre una gama de materiales y procesos de obtención y manufactura, las decisiones solamente pueden ser consideradas coherentes si fuesen tomadas con base en el análisis crítico, en particular al histórico de los materiales a ser empleados en la producción industrial.

La importancia del concepto del Ciclo de Vida surge de dos conceptos básicos: (Suppen, 2007)

- ⇒ Cuantificar un indicador agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales y determinado por sus distintas variables (impactos). Esta cuantificación se realiza relacionando los impactos con los problemas ambientales. Para la interpretación de estos impactos (por ejemplo cantidades de

## Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”

energía, uso de materiales, emisiones) es importante establecer el efecto que tienen estos sobre los problemas.

⇒ Establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental. Basado en su enfoque sistémico, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas del mejoramiento del desempeño ambiental.

El ACV permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente, de aquí se derivan las siguientes oportunidades del uso del ACV: (Suppen, 2007)

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los diseñadores pueden diseñar productos o servicios de menor impacto ambiental.

La metodología del ACV, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares.

En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía.

De igual modo, provee ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Ecoetiquetado). La misma *World Trade Organization*, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV.

El ACV no sólo es un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costos y mejorar posiciones en el mercado.

Según la importancia y beneficios que aporta esta herramienta el ACV presenta aplicaciones para:

- ♦ Mejoramiento y Desarrollo de productos/servicios (Diseño)

## Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”

---

- ◆ Comparación de productos
- ◆ Identificar “Hot spots” en el ciclo de vida de un producto
- ◆ Ecoetiquetado (Tipo I y III)
- ◆ Indicadores de *performance* ambiental
- ◆ Localización de la producción
- ◆ Planeamiento estratégico
- ◆ Educación y comunicación
- ◆ Prevenir polución
- ◆ Evaluar y reducir riesgos potenciales
- ◆ Evaluar y mejorar programas ambientales
- ◆ Desarrollo de políticas y regulaciones
- ◆ Desarrollar estrategias de mercado

Una aplicación posterior del ACV es la determinación de externalidades (costes sociales, medioambientales o económicos) que no son asumidos o soportados directamente por ninguno de los agentes que intervienen en la cadena de producción y uso de un producto determinado.

### 1.3.4 – La incertidumbre y la subjetividad en el ACV

A pesar de que el Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que se está desarrollando rápidamente, aún requiere de mucho trabajo para alcanzar el consenso y superar las limitaciones que ahora presenta, las cuales se relacionan principalmente con la incertidumbre y la subjetividad, debido a que: (Suárez Olivera, 2008)

1. Existen incertidumbres en:
  - los datos usados para generar el inventario
  - la metodología usada para analizar el inventario y para evaluar el impacto,
  - la descripción del sistema en estudio, y
  - en los datos usados como referencia para la normalización.
2. El pesaje involucra elementos ideológicos y valores éticos que no pueden determinarse objetivamente. A continuación se describen las situaciones que dan lugar a la presencia de incertidumbre.

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

- a) En los datos.- Porque hay mucha variación entre las diferentes bases de datos, lo cual puede deberse a errores, a diferentes procedimientos de reparto o a diferentes niveles de tecnología, existentes en el mismo momento en el mismo país.<sup>7</sup>
- b) En la metodología.- Hay dos ejemplos relevantes que generan incertidumbre: el marco de tiempo para vertederos y el reparto multi-entradas.
  - El marco de tiempo para vertederos.- Porque las emisiones de los ciclos de vida, se deben integrar para un cierto período de tiempo, pero las emisiones de los vertederos se presentan por largos períodos de tiempo, a menudo miles de años.
  - Para hacer comparables las potenciales emisiones del vertedero con otras emisiones no hay acuerdo internacional para definir éste período. Por lo tanto, la elección de un período de tiempo pequeño (décadas o siglos) o un período largo pueden influenciar mucho los resultados.<sup>8</sup>
  - El reparto multi-entradas.- Un ejemplo es la incineración de residuos municipales, que recibe una gran cantidad de productos y emite muchos contaminantes, por ejemplo dioxinas cloradas. Una pregunta interesante es ¿Cómo deberían repartirse las dioxinas entre los productos que entraron a incineración? Existen dos posiciones: a) repartir las dioxinas cloradas entre las residuos que entraron en relación a su contenido de cloro, o b) repartirlas entre los residuos que entraron pero considerando su valor calorífico o algo similar como el contenido de carbono.
- c) En la descripción del sistema.- ¿Por qué los resultados dependen de los aspectos claves que rodean al sistema y qué son fuente de incertidumbre? (Finnveden, 2000), por ejemplo: la cantidad de combustible utilizado por transporte privado para llevar materiales a centros de acopio de residuos.
- d) En los datos usados como referencia para la normalización.- Ya que no siempre existen inventarios de emisiones ni metas establecidas para las áreas y períodos de referencia.<sup>9</sup>

A pesar de las limitaciones expuestas anteriormente, el Análisis del Ciclo de Vida constituye un marco objetivo y científicamente robusto, para el apoyo en la toma de decisiones ambientales.

---

<sup>7</sup> Finnveden, (2000)

<sup>8</sup> Finnveden, (1995, 1998, 1999, 2000)

<sup>9</sup> Güereca et al., (2005)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

### **1.4 – Aplicación del ACV a la Industria Azucarera en Cuba, sus derivados**

Para la nación cubana, la caña y el azúcar forman parte integrante de la historia, la cultura y las tradiciones del pueblo. A partir de 1959, en la agricultura cañera se desarrolló un proceso de modernización dirigido a una agricultura más intensiva, de altos insumos y caracterizada fundamentalmente por la introducción de la mecanización, que a finales de la década de los años 80 alcanzaba el 75% de la cosecha y el 100% del alza, lográndose una producción nacional promedio de más de 7.5 millones de t/año. (Morín, 2005)

En la década de los años 90, se crean situaciones extremadamente difíciles para Cuba por la desaparición del campo socialista. Por primera vez, la producción azucarera cubana, en proporción de un 90% destinada a la exportación, se ve enfrentada de manera total al llamado mercado libre (mercado de precios extremadamente deprimidos) motivado fundamentalmente por las medidas proteccionistas de los países más desarrollados.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo de extraordinaria capacidad, que en buenas condiciones culturales, produce volúmenes superiores a las 100 t/ha de tallos y si se incluyen las hojas y puntas, que no se emplean para la producción de azúcar; el volumen de biomasa vegetal se eleva en 20%.

Esa alta productividad de la caña se explica por su elevada eficiencia fotosintética en comparación con otros cultivos comerciales, que le permite una mayor utilización de la energía solar y consecuentemente, un mayor coeficiente de absorción del CO<sub>2</sub> atmosférico.

Solamente por esto, el cultivo de la caña de azúcar representa un aporte ecológico de importancia como vía para aliviar el calentamiento de la atmósfera que se origina a través del llamado "efecto invernadero". Aun cuando no están disponibles estudios definitivos sobre la actividad fotosintética de la caña, a partir de algunos estudios básicos, ha sido posible estimar, muy conservadoramente, una capacidad de fijación de carbono superior a 2 t por ha por año, solamente comparables con la de los bosques deciduos de las zonas templadas.

Desde el comienzo de la década de los años 90, se viene trabajando sistemáticamente para lograr una agricultura cañera cada vez más ecológica, u orgánica, menos dependiente de los costosos insumos de productos químicos y que basada en el más moderno desarrollo científico-técnico posea una verdadera racionalidad ecológica y sustentabilidad económica.

En Cuba la cosecha de caña verde se ha venido introduciendo paulatinamente y hoy está generalizada en alrededor del 90% de las áreas. También se emplea un sistema de cosecha mecanizada (74% del área) con máquinas que realizan una limpieza parcial de la caña por medios neumáticos. La paja extraída queda sobre el suelo en forma de una cubierta protectora

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

que realiza una importante función de conservación de la humedad, evita la erosión y contribuye a la lucha contra malas hierbas. Solamente por este concepto se reportan disminuciones en el consumo de herbicidas de un 35% y hasta un 50% si se aplica localizado y las labores de cultivo mecánico de hasta un 33%.

Este cambio tiene un tremendo impacto en múltiples aspectos de la producción cañera; que inciden favorablemente, ya sea desde el punto de vista tecnológico, económico, como de protección del medio ambiente; pues se reducen labores de cultivo, consumo de agrotóxicos y los costos de producción, además del efecto beneficioso al medio ambiente por reducción de la contaminación del aire y de la degradación de los suelos.

El uso óptimo de los fertilizantes se alcanza mediante un Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE) para la caña de azúcar, el que tiene el objetivo fundamental de aplicar sólo aquel fertilizante que se halla en déficit en el suelo y que la planta necesita para su normal desarrollo. Con este sistema se evita la fertilización irracional que tanto afecta al medio ambiente y el incremento de los costos de producción, contribuyendo además a mantener el equilibrio biológico del suelo.

El programa cubano de variedades garantiza que constantemente se estén incorporando a la producción nuevos individuos para sustituir variedades que van degenerando y comienzan a ser susceptibles a plagas y enfermedades. Actualmente, el 92% de las variedades en producción son cubanas y sólo el 8% de ellas proceden del extranjero. Estas últimas son sometidas a rigurosos estudios de campo, donde se analiza su comportamiento y adaptación en las diferentes regiones edafoclimáticas del país y sólo son aceptadas si son iguales o superan en rendimiento y otros parámetros a los patrones cubanos. (INICA, 2007)

La caña es una planta de características excepcionales, capaz de sintetizar carbohidratos solubles y material fibroso a un ritmo muy superior al de otros cultivos comerciales. Esta propiedad le abre una posibilidad prácticamente infinita de aprovechamiento para la producción de cientos de derivados, en muchos casos de mayor valor agregado e importancia económica que el azúcar.

En la Tabla No. 1.1 se muestran los distintos derivados de la caña de azúcar, el proceso que se realiza para su conversión y las industrias que los utilizan.

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

**Tabla No. 1.1** – Algunos derivados de los azúcares de la caña. **Fuente:** (Morín, 2005)

| PRODUCTO           | PROCESO |                 | UTILIZACIÓN                        |
|--------------------|---------|-----------------|------------------------------------|
|                    | Químico | Biotechnológico |                                    |
| Azúcar             | x       |                 | Industria Alimentaria              |
| Glucosa            | x       |                 | Ind. Alimentaria y Farmacéutica    |
| Fructuosa          | x       |                 | Ind. Alimentaria y Farmacéutica    |
| Alcohol etílico    |         | x               | Combustible, bebidas, Ind. Química |
| Levaduras          |         | x               | Piensos, Panadería, Bebidas        |
| L-Lisina           |         | x               | Piensos y Alimentos                |
| Acido cítrico      |         | x               | Ind. Alimentaria y Farmacéutica    |
| Acido láctico      |         | x               | Ind. Química y Farmacéutica        |
| Acido acético      |         | x               | Varias industrias                  |
| Acido oxálico      | x       |                 | Ind. química y Construcciones      |
| Glutamato mono-Na  |         | x               | Industria Alimentaria              |
| Acetona y butanol  |         | x               | Industria Química                  |
| Dextrana y xantano |         | x               | Aglutinante, espesante             |
| Sorbitol y manitol | x       |                 | Ind. Alimentaria y Farmacéutica    |

Por otra parte se están introduciendo derivados de "tercera" y "cuarta" generación mediante la transformación de los primeros, en productos de mayor valor agregado. La sacarosa se convierte en materia prima para medicamentos como la vitamina C por la ruta glucosa-sorbitol, polímeros como el poli-hidroxi-butilato y tensoactivos biodegradables. La celulosa obtenida del bagazo permite llegar al celofán, los acetatos, rayón, carboxi-metil-celulosa (CMC), celulosa micro-cristalina, etc. (Morín, 2005)

La agroindustria azucarera encierra una enorme riqueza y amplias potencialidades en la

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

producción de alimentos, fondos exportables, combustible (alcohol), generación de energía eléctrica, biogás, a partir de fuentes no contaminantes y renovables, mucho más económica que la generada por combustibles fósiles.

Que la agroindustria azucarera se encuentre casi al borde de desaparecer se manifiesta como un grave error estratégico y con ello aumenta la vulnerabilidad de la economía cubana, la hace más dependiente del exterior no aprovechando las potencialidades y el conocimiento que ella encierra.

La situación crítica de la agroindustria origina afectaciones a otras actividades económicas importantes como: la industria mecánica, la industria ligera, la ganadería la industria alimenticia (particularmente la industria de bebidas y licores), la generación de energía eléctrica y la alimentación de la población. Además es una importante fuente generadora de empleo y la poca disponibilidad del producto azúcar y otros subproductos (mieles-alcohol) motivan reducciones importantes de ingresos por la vía de las exportaciones y a la vez la imposibilidad de cubrir las necesidades del mercado interno y de poder cubrir compromisos externos contraídos. Por lo anterior, la economía se ve precisada a realizar importantes erogaciones en moneda convertible por importaciones de azúcar y alcohol. (Nova Glez, 2006)

La caña de azúcar, cuyo potencial genético aún está lejos de ser bien aprovechado, puede ser cultivada con técnicas mucho más apropiadas y sustentables, tanto en términos económicos como ecológicos. Debido a esto la industria azucarera cubana esta urgida en trabajos para disminuir el impacto medioambiental, dado que tanto el sector agrícola como el industrial, son una fuente contaminante importante para la tierra, el agua y el aire de nuestros ecosistemas. El análisis de ciclo de vida permite trazar las mejores estrategias ambientales futuras para rediseñar este sector de la economía buscando su diversificación, y el aprovechamiento de sus residuales lo que es de vital importancia para su subsistencia.

### **1.4.1 – Cultivos y descripción del proceso de producción de etanol**

El **alcohol etílico** ( $C_2H_5OH$ ) o etanol puede ser producido por rutas biológicas o petroquímicas. En el primer caso, se trata de un biocombustible (combustibles renovables de origen biológico) y su obtención resulta esencialmente de dos procesos: fermentación y destilación. Durante la fermentación, soluciones azucaradas (mosto) se transforman en soluciones alcohólicas (vino), que posteriormente en la destilación son separadas en alcohol y residuo acuoso (vinaza). El alcohol producido en un sistema de destilación convencional contiene alrededor de 5% de agua y es denominado alcohol hidratado; cuando este alcohol es procesado en columnas posteriores de deshidratación, se obtiene el alcohol anhidro, con menos de 1% de agua. (Horta Nogueira, 2004)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

El punto de partida para la producción de alcohol es la producción de una solución azucarada, el mosto. Existen básicamente tres alternativas para obtener tal solución:

- 1) directamente de un vegetal como la caña de azúcar, que produce un jugo con alrededor de 15% de azúcares diluidos;
- 2) por la dilución de una solución concentrada de azúcar, como las melazas o mieles resultantes de la producción de azúcar, y
- 3) por la sacarificación de sustancias celulósicas, como el bagazo, o amiláceas, como el almidón de maíz o yuca.

Este último proceso puede a la vez ser por ruta enzimática, ácida o mixta, y para una materia prima de bajo precio, la celulosa del bagazo, la cual está todavía en desarrollo, pero con perspectivas interesantes.

En la Figura No. 1.8 se observan los distintos cultivos utilizados para la obtención de etanol, agrupados según el tipo: cultivos de azúcar, cultivos feculentos y materiales celulósicos.

La producción de alcohol a partir de la caña de azúcar es más económica, y puede obtenerse por la fermentación del jugo directo de la caña o del mosto preparado con melazas o aun por combinación entre las dos anteriores. El bagazo resultante del proceso de extracción del jugo en la molienda es un residuo lignocelulósico, con 50% de humedad, que puede ser quemado en las calderas a vapor del ingenio, generando energía térmica para los procesos de fabricación y mediante los sistemas de cogeneración, producción de energía eléctrica y mecánica. La utilización optimizada del bagazo puede elevar de forma importante la rentabilidad de la agroindustria cañera e incrementar la producción de energía electromecánica, de los usuales 25kW/h por tonelada de caña procesada, a niveles tres a cuatro veces superiores.

### Ciclo de producción del etanol (Ramos León, 2008)

#### 1) Fermentación

La fermentación de los azúcares es llevada a cabo por microorganismos (levaduras o bacterias) y produce etanol así como grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Además produce otros compuestos oxigenados indeseables como el metanol, alcoholes superiores, ácidos y aldehídos. Típicamente la fermentación requiere unas 48 horas.

#### 2) Purificación

El método más antiguo para separar el etanol del agua es la destilación simple, pero la pureza está limitada a un 95-96% debido a la formación de un azeótropo de agua-etanol de bajo punto de ebullición. En el transcurso de la destilación hay que desechar la primera fracción que

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

contiene principalmente metanol, formado en reacciones secundarias. Aún hoy, éste es el único método admitido para obtener etanol para el consumo humano.

Para poder utilizar el etanol como combustible mezclándolo con gasolina, hay que eliminar el agua hasta alcanzar una pureza del 99,5 al 99,9%. El valor exacto depende de la temperatura, que determina cuándo ocurre la separación entre las fases agua e hidrocarburos.

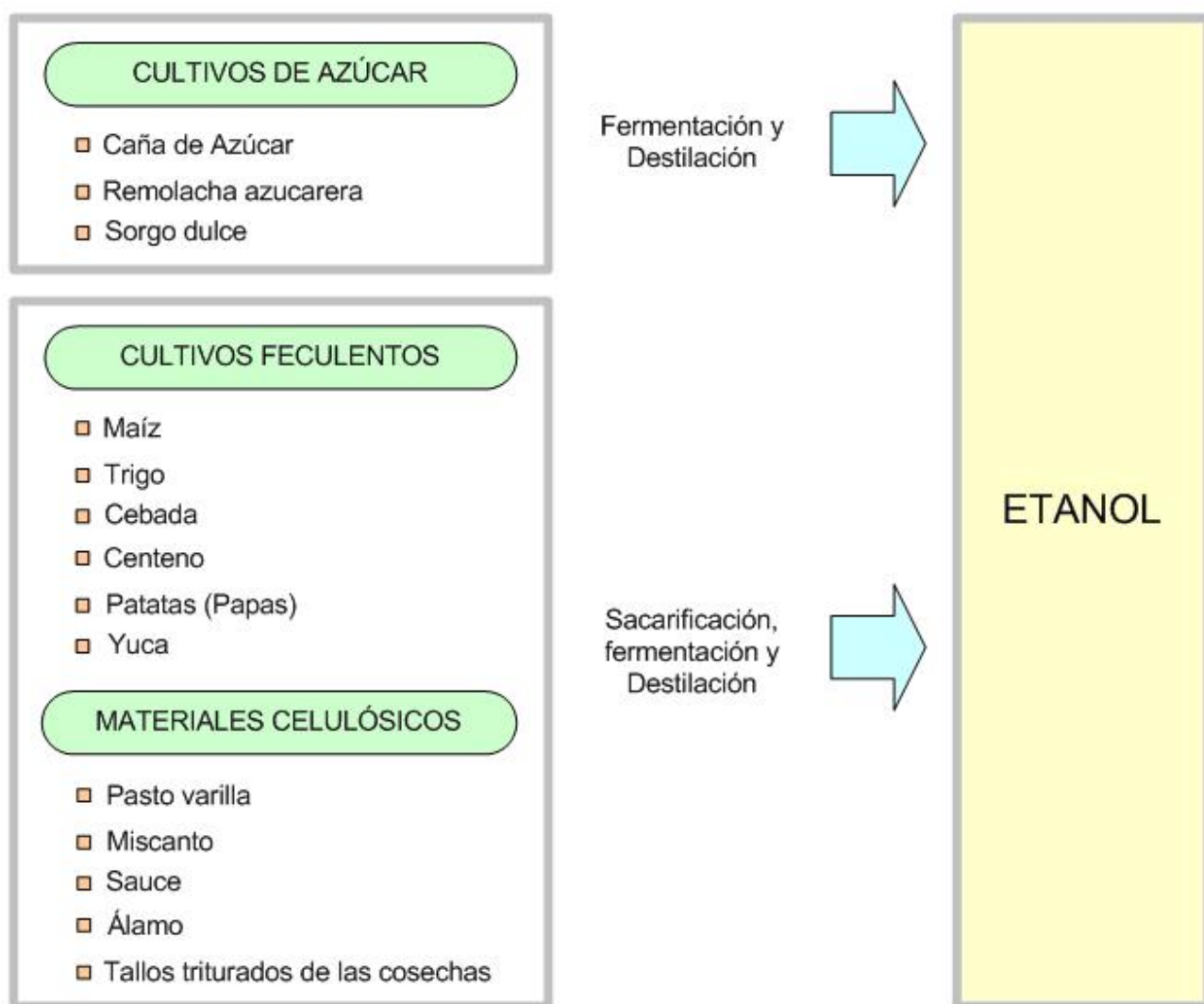
Para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica en una mezcla con benceno o ciclohexano. De estas mezclas se destila a temperaturas más bajas el azeótropo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que el etanol se queda retenido. Otro método de purificación muy utilizado actualmente es la adsorción física mediante tamices moleculares.

A escala de laboratorio también se pueden utilizar desecantes como el magnesio, que reacciona con el agua formando hidrógeno y óxido de magnesio.

### 3) Síntesis química

El etanol para uso industrial se suele sintetizar mediante hidratación catalítica del etileno con ácido sulfúrico como catalizador. El etileno suele provenir del etano (un componente del gas natural) o de nafta (un derivado del petróleo). Tras la síntesis se obtiene una mezcla de etanol y agua que posteriormente hay que purificar mediante alguno de los procesos descritos más arriba. Según algunas fuentes, este proceso es más barato que la fermentación tradicional pero en la actualidad representa sólo un 5% de la capacidad mundial de producción de etanol.

El etanol puede ser utilizado como combustible en motores, en sustitución de la gasolina, básicamente de dos maneras: 1) en mezclas de gasolina y alcohol anhidro, o 2) como alcohol puro, generalmente hidratado. El combustible resultante se conoce como gasohol (en algunos países, "alconafta"). Dos mezclas comunes son E10 y E85, que contienen el etanol al 10% y al 85%, respectivamente. En el Anexo No. 8 se muestran las ventajas y desventajas del uso del etanol como combustible respecto a los combustibles convencionales.



**Figura No. 1.8** – Conversión de materias primas agrícolas en etanol.

**Fuente:** (Veiga, 2008)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

### **1.4.2 – Producción de etanol a nivel Mundial**

El mercado del alcohol para uso local y la exportación "abre oportunidades prácticamente ilimitadas para todos los países productores", en especial con las perspectivas del aumento de la demanda en el mercado internacional del etanol, muy empleado para mezclas con combustibles para el funcionamiento de motores de combustión interna. De esta forma se abren nuevas alternativas al fabricarse azúcar de más calidad, como la cogeneración eléctrica, la levadura, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el fertirriego, entre otras.

La creciente necesidad de ampliar de modo sostenible el uso de fuentes renovables de energía, para proporcionar mayor seguridad al suministro energético y reducir los impactos ambientales asociados a los combustibles fósiles, encuentra en el bioetanol de caña de azúcar una alternativa económicamente viable y con significativo potencial de expansión.

Otro criterio que hace suponer que la demanda de bioetanol tenderá a expandirse está vinculado a las cuestiones del medioambiente. En efecto, de avanzar los acuerdos del protocolo de Kyoto, se produciría un crecimiento de la demanda del etanol anhidro como una vía para la disminución de las emisiones de GHG (*greenhouse* gases), particularmente el CO<sub>2</sub>. Un contexto tal implicaría transformaciones esenciales en las estructuras económicas de los países industrializados, y en especial en el sector de transporte de sus industrias. (Peña Castellanos, 2006)

En la actualidad, según (Horta Nogueira, 2004), varios aspectos ayudan para promover la producción de etanol en un gran número de países desarrollados o en desarrollo. Así, pueden ser citados:

- a) la sustentabilidad ambiental de los biocombustibles, por ser una forma renovable de energía, o por presentar un menor impacto ambiental en el uso final;
- b) la posibilidad de dinamizar las actividades agrícolas y generar empleo en el medio rural, por medio de la producción de los biocombustibles, y
- c) la diversificación estratégica que los biocombustibles traen a los sectores agroindustriales eventualmente estancados o en retracción.

El etanol presenta algunas diferencias importantes con relación a los combustibles convencionales, derivados del petróleo. La principal de ellas, es la elevada concentración de oxígeno, que representa cerca del 35% de la masa de etanol. En general, las características del etanol permiten una combustión más limpia y un mejor desempeño de los motores (ciclo Otto), lo que conlleva a la reducción de las emisiones contaminantes.

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

En el Anexo No. 9 se ofrecen los principales productores de biocombustibles a nivel mundial, la producción, el tipo de biocombustible que usan y el cultivo energético; además en el gráfico adjunto se puede visualizar mejor quiénes son los mayores productores (Brasil y Estados Unidos). En el Anexo No. 10 se muestra el rendimiento de cada cultivo usado para la producción de bioetanol, siendo la caña de azúcar la de mayor rendimiento.

En la Tabla No. 1.2 se muestran proyecciones de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar para el año 2050, mostrándose un aumento considerable para cada uno de los productores.

**Tabla No. 1.2** – Producción de etanol (en Galones) a partir de la caña de azúcar.

**Fuente:** (Peña Castellanos, 2006)

|                   | 2010 | 2020  | 2030  | 2050  |
|-------------------|------|-------|-------|-------|
| <b>Brasil</b>     | 21.0 | 61.0  | 121.2 | 309.6 |
| <b>Otros</b>      |      |       |       |       |
| <b>A. Latina</b>  | 4.4  | 24.2  | 42.7  | 59.8  |
| <b>India</b>      | 5.9  | 23.6  | 49.7  | 100.6 |
| <b>África</b>     | 1.6  | 16.6  | 35.6  | 65.9  |
| <b>China</b>      | 1.9  | 7.6   | 16.0  | 38.6  |
| <b>Otros Asia</b> | 5.6  | 19.8  | 31.2  | 54.4  |
| <b>Medio Este</b> | 0.3  | 1.2   | 2.0   | 3.7   |
| <b>Mundo</b>      | 40.7 | 154.3 | 298.4 | 632.6 |

Actualmente se comercializan entre 3 y 4 Gal de bioetanol anualmente y los principales exportadores son Brasil y Estados Unidos, mientras que los importadores son Japón y Europa. En comparación con la producción anual del producto, las exportaciones apenas si representan el 10%, sin embargo de continuar las tendencias actuales es posible un aumento relevante del mercado internacional del bioetanol en los próximos cinco años, cercanos al 45% de la oferta proyectada para ese período. De ser este el caso, los asuntos de la competitividad de costos cobrarían importancia rápidamente, y en tal sentido Brasil es el país más aventajado. (Peña Castellanos, 2006)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

En pocas regiones del mundo están dadas de forma tan clara las condiciones para la inserción de los biocombustibles en la matriz energética como en América Latina. En esta región, donde la dependencia de combustibles importados (como petróleo o derivados) es casi total, hay suelos y climas adecuados para la producción agrícola, los cultivos de potencial energético son conocidos desde hace siglos y es paradójico que no se consuma internamente el etanol anhidro carburante que se exporta en volumen creciente.

La propuesta de implementar el uso de biocombustibles en países de América Latina ya ha sido objeto de estudio así como de inversiones significativas aun en los años ochenta, básicamente buscando reproducir la experiencia brasileña de la época. Así, en países como Guatemala, El Salvador y Costa Rica, se estuvo cerca de viabilizar la producción y uso de etanol de caña de azúcar. Sin embargo, diversos factores, como dificultades operacionales, caída de los precios del petróleo a partir de 1985 y falta de una adecuada planificación llevaron al fracaso estas iniciativas, que en su mayor parte no llegó a la efectiva comercialización de combustibles o la mantuvo apenas por poco tiempo. Desde entonces, la producción y uso de biocombustibles quedaron prácticamente olvidados y desacreditados en la región.

Con la evolución del sector energético, asociada a la necesidad de diversificación y dinamización del sector de la caña de azúcar, retornó a la región el interés por los biocombustibles, en especial el alcohol.

### **1.4.3 – Producción de etanol en Cuba**

En Cuba, los alcoholes se producen como subproducto de la industria azucarera, después de hacerle tres extracciones de azúcar al jugo de caña. El cambio de clima está afectando la producción azucarera. Grandes sequías se vienen alternando con lluvias récord, que apenas permiten producir azúcar durante cien días con rendimientos adecuados en los meses de nuestro muy moderado invierno de modo que falta azúcar por tonelada de caña o falta caña por hectárea debido a las prolongadas sequías en los meses de siembra y cultivo.

En siglo XVIII se inicia la producción de aguardientes y ron en instalaciones pequeñas.

A mediados del siglo XX se produce una expansión de la producción estimulada por las regulaciones de la ley seca en los Estados Unidos.

Entre los años 60 y 70 se realiza una racionalización de 30 destilerías de mediana y mayor capacidad produciendo poco más de 1 millón de litros.

En la década del 80 comienza un proceso de modernización y construcción de nuevas destilerías proyectadas y construidas nacionalmente.

## Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”

En la actualidad se operan en el país 18 destilerías con una capacidad instalada de 1.5 millones de HL al año; 13 operadas por el Ministerio del Azúcar, 4 por el Ministerio de la Alimentación y 1 operada en asociación con una empresa Española.

En la Figura No. 1. 9 se muestra la ubicación geográfica de las destilerías existentes en el país y en la Tabla No. 1.3 se identifican las destilerías siguiendo el mismo número del mapa y la capacidad que éstas presentan en litros al día.



**Figura No. 1.9** – Ubicación geográfica de las destilerías existentes en el país.

**Fuente:** (González Morales, 2008)

A continuación se pueden observar la capacidad de las destilerías que están ubicadas en el país.

**Tabla No. 1.3** – Capacidad de las destilerías existentes en el país.

**Fuente:** (González Morales, 2008)

| No. | Destilería         | Provincia       | Capacidad (L/día) |
|-----|--------------------|-----------------|-------------------|
| 1   | Héctor Molina      | Habana          | 50 000            |
| 2   | Jesús Rabí         | Matanzas        | 50 000            |
| 3   | ALFICSA            | Cienfuegos      | 90 000            |
| 4   | Perucho Figueredo  | Villa Clara     | 150 000           |
| 5   | Heriberto Duquesne |                 | 50 000            |
| 6   | Melanio Hernández  | Sancti Spíritus | 80 000            |
| 7   | Uruguay            |                 | 350 000           |

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

|           |                         |                |         |
|-----------|-------------------------|----------------|---------|
| <b>8</b>  | Ciro Redondo            | Ciego de Ávila | 300 000 |
| <b>9</b>  | Primero de Enero        |                | 300 000 |
| <b>10</b> | Brasil                  | Camagüey       | 300 000 |
| <b>11</b> | Batalla de las Guásimas |                | 300 000 |
| <b>12</b> | Amancio Rodríguez       | Las Tunas      | 60 000  |
| <b>13</b> | Antonio Guiteras        |                | 100 000 |
| <b>14</b> | Majibacoa               |                | 300 000 |
| <b>15</b> | Arquímedes Colina       | Granma         | 50 000  |
| <b>16</b> | Julio A. Mella          | S. de Cuba     | 50 000  |
| <b>17</b> | Urbano Noris            | Holguín        | 50 000  |
| <b>18</b> | Argeo Martínez          | Guantánamo     | 30 000  |

Como política hoy el alcohol se destina a la producción de ron, medicamentos y perfumería. Cuba no se opone al uso de etanol como biocombustible, pero no es por ahora política del país utilizarlo masivamente debido a las siguientes consideraciones:

1. La producción y el consumo de biocombustibles han y seguirá aumentado en los próximos años, impulsados por políticas muchas veces no lo suficientemente justificadas sustentablemente de manera integral.
2. En el debate actual sobre los biocombustibles que existen entre políticos, científicos, empresarios y comunidad en general hay diferentes criterios de las ventajas y desventajas que traería una producción masiva de biocombustibles, debido a ello se hace necesario aumentar los conocimientos sobre los impactos emergentes positivos y negativos de estas producciones, que permita construir una base sólida sobre la cual se sustenten las políticas relacionadas con estas producciones, eliminando los conflictos entre los diferentes actores implicados.
3. Los principales retos con que se enfrentan hoy los biocombustibles consisten en reducir los riesgos derivados de su producción y, al mismo tiempo, garantizar que las oportunidades que conllevan se compartan de manera generalizada; sin afectar a la comunidad pobre y a los que padecen inseguridad alimentaria; fomentar el desarrollo agrícola y rural de amplia base; y asegurar la sostenibilidad ambiental

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

4. Se hace necesario desarrollar y aplicar metodologías que permitan valorar integralmente la tendencias hacia una producción sostenible de biocombustibles, de manera que los tomadores de decisiones tenga los elementos suficientes para juzgar el peso que pueden tener la producción y consumo de biocombustibles, garantizando políticas a corto, mediano y largo plazo que mantengan un equilibrio entre crecimiento económico, sustentabilidad ambiental y equidad social.

Por otra parte Cuba no tiene como la mayoría de los países de América Latina como Brasil, Argentina, etc. grandes disponibilidades de tierras de cultivo (según total de tierras y cantidad de habitantes) por lo que las políticas de uso de tierra tienen que adaptarse a esas condicionantes.

En Cuba se han venido desarrollando investigaciones relacionadas con el uso del alcohol como combustible:

El Centro de Investigaciones y Desarrollo del Transporte (CETRA), desde 1995 comenzó a desarrollar investigaciones preliminares sobre el uso del alcohol como combustible. A partir de 1997 esta misma entidad empezó a trabajar de conjunto con el Ministerio del Azúcar (MINAZ). Los primeros proyectos estuvieron dirigidos al empleo de los alcoholes hidratados por ser los de mayor producción en el país en los últimos diez años (99 % como promedio), los de más bajo costo y los más proclives al surgimiento de excedente en los próximos años, debido a la ejecución del plan de gasificación de las viviendas.

Actualmente se están realizando investigaciones de conjunto CETRA-MINAZ para el uso de alcoholes hidratados (alcohol técnico B) al 30-40 % con combustible diésel, mediante el desarrollo de la tecnología de la inyección directa del alcohol y el diésel. El proyecto se encuentra en la fase de perfeccionamiento de la tecnología, pues implica modificaciones en el motor.

El empleo del alcohol hidratado en sustitución de la gasolina y el diésel resulta económicamente ventajoso en las flotas cautivas del MINAZ. Sin embargo, su aplicación a nivel de país y la utilización del alcohol anhidro en las condiciones de producción futura requiere de análisis y evaluaciones más profundas, de la factibilidad de producción en grandes cantidades, de los costos y posibles uso del etanol, entre otros. (Villarroel Castro, 2008)

Fidel Castro Ruz, da una clara explicación de la exposición que se le esta haciendo a los habitantes de esta planeta a morir de hambre debido a la utilización de las tierras para el cultivo de plantas para producir combustible y no para alimentos, nos demuestra claramente que los únicos afectados somos los países pobres: (Ramos León, 2008)

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

---

La idea siniestra de convertir los alimentos en combustible quedó definitivamente establecida como línea económica de la política exterior de Estados Unidos.

De todas las destilerías existentes en el país la Empresa de Alcoholes Finos de Caña S.A (ALFICSA), Empresa Mixta Cuba-España, es la destilería más moderna y que invierte constantemente en estudios ambientales de su producción, mostrando así su preocupación por el daño al cambio climático y la salud humana de todos los pobladores de la zona.

Su construcción comenzó en el año 1997 para una capacidad de producción de 50 000 litros de alcohol puro diario y se logró en el año 1999 financiamiento y aprobación para concluirlo con la capacidad de 900 hectolitros de alcohol puro (hlap), comenzando su producción física en el año 2000.

Esta empresa como todas las industrias en Cuba desea obtener un producto de alta calidad y que a su vez su producción no afecte al medio ambiente. Para lograr este objetivo se debe realizar un análisis de todo el proceso de producción de la industria desde su comienzo hasta la obtención del producto final, es decir, en todo su ciclo de vida, encontrándose de esta forma diversas fuentes de contaminación, que pueden ser controladas y minimizadas.

Ante este panorama y dada las características de los países subdesarrollados de ser exportadores de productos primarios provenientes fundamentalmente de la agricultura, se impone establecer estrategias de desarrollo que tiendan a elevar la eficiencia en el empleo de la tierra, y potencien las escasas ventajas adquiridas en cada caso.

## *Capítulo I: “Marco teórico de la investigación”*

### **Conclusiones Parciales del Capítulo I**

1. La consulta bibliográfica de los temas abordados en la presente investigación constituyen la base para la aplicación de los conocimientos adquiridos en la identificación y solución de los problemas detectados.
2. Adoptar el enfoque por procesos supone una visión alternativa a la tradicional, percibe la organización como un sistema interrelacionado de procesos que contribuyen conjuntamente a incrementar la satisfacción del cliente, posibilitando a la empresa una mejor adaptación y flexibilidad para responder a los cambios.
3. El Sistema de Gestión Integrado (SGI) se aplica a todas las actividades relativas a la calidad de un producto o servicio, a las que presenten riesgos para la sociedad y a aquellas que puedan dañar el medio ambiente, existiendo una influencia mutua entre ellas.
4. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que brinda una base sólida para la toma de decisiones técnicas adecuadas con base en las cuestiones que podrían plantearse sobre el lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de productos existentes, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental, lográndose el desarrollo sostenible y la eco-eficiencia.
5. La producción y comercialización mundial del alcohol como biocombustibles está aumentando considerablemente por los países desarrollados y no desarrollados. Cuba cuenta con hectáreas de caña, cultivo de mayor rendimiento para la producción de alcohol, pero deben aplicarse metodologías que permitan valorar integralmente la tendencias hacia una producción sostenible de biocombustibles, para juzgar el peso que pueden tener la producción y consumo de biocombustibles, garantizando políticas a corto, mediano y largo plazo que mantengan un equilibrio entre crecimiento económico, sustentabilidad ambiental y equidad social.

## CAPÍTULO II

### **Capítulo II: “Parte experimental”**

En este capítulo se desarrolla una caracterización de la empresa mixta de alcoholes finos ALFICSA y se estructura una metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del alcohol basada en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 042 y NC-ISO 14 043.

#### **2.1 – Descripción del objeto de estudio**

##### **2.1.1 – Características de la planta de alcoholes finos de caña, ALFICSA**

El 21 de julio de 1997, se expide la certificación del Acuerdo No.3178 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros que autoriza la creación de la Empresa Mixta Alcoholes Finos de Caña S.A., (ALFICSA). Esta empresa esta conformada por las sociedades CUBALCOL s.f. VINUMAR s.f. de España, y THUNDERGUST LTD de Gibraltar y tiene su domicilio legal en el Consejo Popular Torula, municipio de Aguada de Pasajeros, provincia de Cienfuegos.

ALFICSA combina los últimos avances tecnológicos y el cuidado del medio ambiente con la experiencia cubana en la producción de alcoholes a partir de las melazas de caña de azúcar, y su misión es ofertar materias primas de alta calidad a las industrias licoreras, farmacéuticas y de cosméticos de todo el mundo.

El 14 de octubre del 2000 se inaugura la destilería con una capacidad potencial superior a los 80 000 L/día de alcohol extrafino de 96.3 GL almacenados en depósitos de acero inoxidable y contando con un sistema SCAP para el control del proceso, aspectos que garantizan la calidad del producto y disminuyen el número de trabajadores en comparación con otras fábricas de similar capacidad de producción.

La Misión y la Visión de la Empresa están declaradas de la siguiente forma:

#### **Misión:**

ALFICSA es una empresa mixta Cubano-Española, ubicada en la región central del país que combina los últimos avances tecnológicos y el cuidado del medio ambiente con la experiencia cubana en la producción de alcoholes a partir de la melazas de caña de azúcar y su MISIÓN es ofertar materias primas de alta calidad de las industrias licoreras, farmacéuticas y de cosméticos de todo el mundo.

### Visión:

Ser empresa líder en el mercado internacional del alcohol, logrando que nuestros sistemas de la calidad este certificado según las normas ISO-9002 y convirtiendo nuestra producción en una producción totalmente ecológica.

ALFICSA produce distintos tipos de alcoholes de la más alta calidad los cuales deben superar estrictos controles de calidad antes de su salida al mercado. Sus principales clientes nacionales son, Suchel, Cuba ron, Havanaclub.

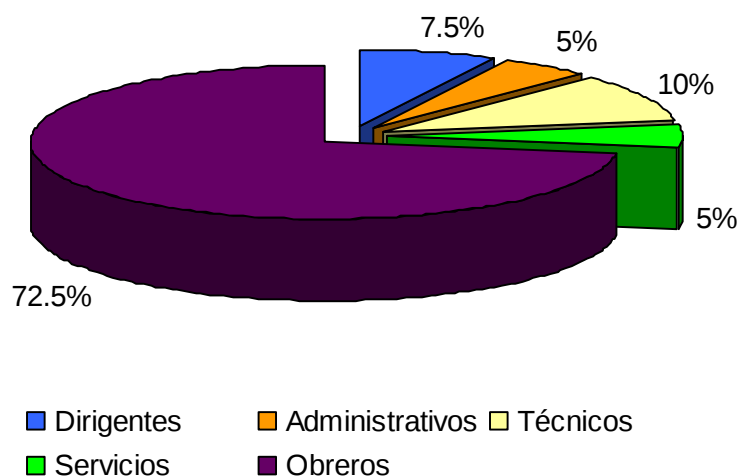
### 2.1.2 – Macrolocalización del proyecto.

La destilería esta ubicada al oeste de Batey de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez, perteneciente al Asentamiento Aguada, prácticamente en su zona industrial y en el perímetro urbano donde existe menor cantidad de viviendas afectadas y cercana a la empresa de Levadura Torula. Dicha entidad se encuentra en el municipio Aguada de Pasajeros de la Provincia Cienfuegos, colindante con la Ciénaga de Zapata. Tiene una situación terrestre favorable en cuanto a su acercamiento a la Autopista Nacional al estar a 26 Km. de la misma. Además presenta una buena accesibilidad regional ferroviaria a través de los ramales de Torula y Carreño, comunicando con la línea sur (vía secundaria) a unos 19,5 km la cual es una vía en estado regular con capacidad para asimilar el tránsito actual y futuro, tiene buena accesibilidad a un aeropuerto internacional y la accesibilidad portuaria con un puerto de primera categoría como el de Cienfuegos a una distancia entre 60 y 80 km es adecuada. Se encuentra muy cercana a concentraciones poblacionales como los Asentamientos de Covadonga, el Batey de .Perseverancia y el núcleo poblacional de Real Campiña.

La destilería ubicada en la zona descrita se encuentra a 5 - 7 km de la franja de transición de la Ciénaga de Zapata. La Ciénaga de Zapata es Reserva Ecológica del país debido a los valores faunísticos y florísticos que la misma posee y se ve amenazada por los vertimientos de la industria en cuestión.

El capital humano de ALFICSA es el siguiente (ver Figura No. 2.1):

- Dirigentes 3, que representa el 7.5%
- Administrativo 2, que representa el 5%
- Técnicos 4, que representa el 10%
- Servicios 2, que representa el 5%
- Obreros 29, que representan el 72.5%



**Figura No. 2.1** – Diagrama representativo del capital humano de ALFICSA.

**Fuente:** Elaboración propia.

ALFICSA dedica prácticamente toda su producción para el Mercado Internacional y dada su alta calidad, el producto es el indicado para ser empleado en cualquier uso final donde intervenga el alcohol, desde los cosméticos, hasta las bebidas, pasando por fármacos y otros usos.

### **2.1.3 – Microlocalización del proyecto.**

La ubicación de la destilería ocupa un área de 15 073 m<sup>2</sup>

Largo: Figura Irregular.

Ancho: 103 m.

La tenencia del terreno es privada y existe un convenio de cambio de tierra con el Complejo Agroindustrial Antonio Sánchez.

Los límites de la destilería quedan dados por la fábrica de Torula y su edificio socio administrativo al Norte, terreno de pastos al Sur y Oeste y algunas viviendas al Este, dado con más exactitud por las coordenadas 27 100 mN y 513 mO.

### **2.1.4 – Caracterización socio económico y cultural.**

El Consejo Popular de la Empresa Azucarera "Antonio Sánchez" pertenece al término municipal de Aguada, uno de los siete municipios de la provincia de Cienfuegos y se conoce regularmente, desde su asentamiento original, con el nombre de Covadonga.

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

La comunidad nace en 1906 con la instalación del Ingenio, con capitales de origen matancero. Proviene de la zona de Carlos Rojas y su dueño inicial fue Alejo Carreño. En la región antes no existía actividad económica y era sólo bosque y malezas.

En su inicio, el batey estaba conformado por 4 caballerías, con 2 barrios aledaños, donde vivían sus trabajadores. Su posterior dueño Rivas fue propietario además de los centrales Constancia, Hormiguero y Parque Alto. Poseía en este sitio una finca rústica de 1500 caballerías, contaba con el ferrocarril público - privado desde Carreño a Zapata, con salida de la Ciénaga y a él servían 800 colonos. Poseía también en la zona de Colecito un almacén y puerto de embarque.

La comunidad tenía varios servicios como son un médico, bares y comercio, por esta razón se le conocía como la capital de la Ciénaga, en el argot popular. El Central fue nacionalizado en 1961, iniciando una nueva etapa de su desarrollo.

La Comunidad tuvo una importante participación en la gesta de Girón, ya que aquí se estableció un centro general de dirección de acciones.

### **Población**

- En el consejo viven:
- Total .- 6759 de ellos: varones: 3591, hembras: 3168
- En la zona urbana viven: 5574 de ellos: varones: 2943, hembras: 2631

### **Demografía**

- Distribución por edades:

Total del Consejo:

0-6; 716 – hombres: 383, mujeres: 333

7-13; 717 – hombres: 387, mujeres: 330

14-64; 4740 – hombres: 2498, mujeres: 2242

+ 64; 586 – hombres: 323, mujeres: 263

### **Zona urbana**

- 0-6; 577, hombres: 308, mujeres: 269
- 7-13; 613, hombres: 331, mujeres: 282
- 14-64; 3908, hombres: 2045, mujeres: 1863
- + 65; 476, hombres: 259, mujeres: 217.

### Zona Rural

- 0-6; 139, hombres: 75, mujeres: 64
- 7-13; 104, hombres: 56, mujeres: 48
- 14-64; 832, hombres: 453, mujeres: 37
- +65; 110, hombres: 64, mujeres: 46

El consejo abarca hasta Mercedes, tiene 15 circunscripciones, de ellas 10 en el Batey. La destilería se encuentra ubicada en la # 33. La población total de la circunscripción alcanza los 461 electores.

Población ocupada: 2392, lo que representa el 57% de la población económicamente activa.

La ocupación general de los habitantes está ligada a las actividades económicas de la Empresa Azucarera y la agricultura cañera a excepción de los trabajadores de salud, comercio, educación y servicios.

- Ocupados general en las actividades de la Empresa Azucarera: 1292
- Industria: 450 azúcares: 302
- Fabrica Levadura de Torula: 138
- Fabrica de Ron: 10
- Actividades no industriales: 990, de ellos campesinos: 200

Calificación ocupacional:

- Técnicos de nivel superior: 49 de ellos:
- Torula: 5
- Azúcar: 42
- Ron: 2
- Técnicos de nivel medio: 159

En la Empresa Azucarera se manifiesta una fluctuación relativa de la fuerza de trabajo, debido a otras actividades económicas que se desarrollan indistintamente y en diferentes momentos del año dentro de la localidad como es la preferencia por las actividades particulares del cultivo del arroz la inestabilidad que tienen los jóvenes en esos puestos de trabajo.

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

La categoría ocupacional más relevante la constituye los obreros, lo que representa el 68 % del total de ocupados.

La reserva laboral con que se cuenta es de 23 personas, según datos de la dirección municipal de trabajo.

La comunidad cuenta con capacidad de ocupación de la fuerza de trabajo capaz de satisfacer las necesidades de las empresas instaladas. La búsqueda de mano de obra para el proyecto no es un obstáculo.

### **Economía**

El territorio cuenta con 3 fábricas: 1 de Azúcar, 1 de Torula y 1 de Ron con capacidades de producción de:

a) 300 000 @ diarias de azúcar

b) 32 toneladas de torula / día

c) 500 000 litros anuales de ron

El territorio cuenta con: 8 UBPC cañeras

3 CPA cañeras

7 CCS

2 UBPC pecuarias

1 UBPC Apícola

La propiedad sobre la tierra se comporta del siguiente modo: 90 % es cooperativa y 10 % es privada.

La zona cuenta además con calera, y recursos forestales.

### **Viviendas**

Total de viviendas urbanas del consejo: 2360

La calidad de las viviendas es media, casi todas de construcción moderna, de mampostería.

Sólo quedan 6 de las originales con valores arquitectónicos, en madera del estilo Bungalow.

Viviendas urbanas en la zona del proyecto: 49

Calidad general de las viviendas del área cercana a la fábrica: Media.

En la zona existen problemas de urbanización por crecimiento y descuido hacia el sur del batey, por inmigrantes del campo.



### **Infraestructura**

Las vías de acceso a la comunidad son buenas; pero están en pésimo estado las interiores, sobre todo las de acceso desde centro geográfico a la zona de ubicación del proyecto. Tiene un acceso relativamente cercano a la autopista nacional y a la carretera provincial.

Cuentan con comunicación directa de pasajeros con Aguada, por una ruta de ómnibus y está suspendida la que tenía con Cienfuegos. Posee alumbrado público, con lámparas en la vía de acceso a la fábrica.

Cuenta con tres fuentes de abasto de agua, un micro acueducto y pozos de alimentación industrial y doméstico, un sistema de servicios comunales, una funeraria, un cementerio y un carro fúnebre. No tiene sistema de alcantarillado. El resto utiliza sistema de fosas para sus desechos. Cuenta también con una unidad de bomberos.

La comunidad posee además:

1. Tienda de productos alimenticios
2. Tienda de productos industriales
3. Agromercado
4. Restaurante
5. Cafetería
6. Círculo recreativo
7. Tienda de estímulo
8. Tienda de recaudación de divisas de CIMEX S.A
9. Caja de ahorro popular
10. Oficoda
11. Empresa de comercio

La comunidad se abastece de electricidad por la red nacional.

### **Cultura**

La comunidad cuenta con:

- Cine
- Biblioteca pública

- Un grupo campesino de vecinos asociados.

Las festividades se realizan en relación con el fin de zafra, no encontrándose otra fecha particular que sea celebrada.

El sistema escolar cuenta con grupos de niños aficionados.

Existe un promotor cultural dedicado al fomento de actividades en la comunidad.

No existe conocimiento de valores arqueológicos en la zona.

### **2.2 – Problemas ambientales asociados a la producción de etanol**

En la elaboración de alcohol se utiliza como principal materia prima la miel final o miel B, la elaboración de dicho producto se realiza en el CAI “Antonio Sánchez”. Además se emplean diversos productos químicos y maquinarias para el cultivo de la caña de azúcar con vistas a aumentar su rendimiento. Todos estos procesos tienen una gran incidencia sobre el medio ambiente ya que existen salidas de residuales y consumos altos de energía, agua y materias primas.

Estos procesos tienen lugar en la Empresa de Alcoholes Finos de Caña, el CAI “Antonio Sánchez” y en las áreas de cultivo, todas estas están ubicadas en Covadonga, una zona poblada por lo que cualquier emisión que exista de estas producciones por encima de los límites tolerados afecta la capa de ozono, los suelos, el agua, y también pueden existir afectaciones a la salud de dichos habitantes.

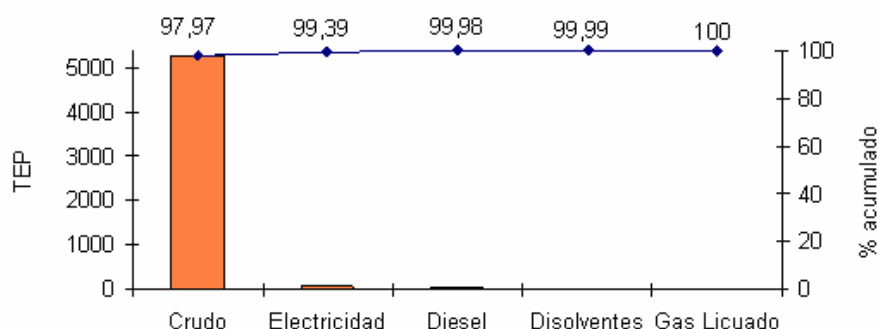
En cada fase del proceso de producción de etanol están identificadas las fuentes de contaminación ambiental, las cuales se describen a continuación.

En el cultivo de la caña de azúcar se le adicionan al suelo herbicidas y fertilizantes de origen químico para eliminar las malas hierbas y nutrir el suelo con los minerales necesarios para obtener un alto rendimiento del cultivo. En las labores se emplean equipos y maquinarias que consumen diesel, un combustible fósil que genera sustancias nocivas para el medio ambiente en todas sus etapas: extracción, producción y uso final.

En épocas de zafra existe contaminación del aire por bagacillo, lo que provoca la existencia dentro de los trabajadores de la zona de enfermedades como la bagazosis y enfermedades respiratorias. Además se generan 11 518l/día de residuales líquidos (con un alto grado de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y materias en suspensión y algunas veces alta basicidad y acidez) los cuales son transportados a través de una zanja o canal hasta una laguna de oxidación donde debe permanecer como máximo hasta 5 días y luego es diluida para el fertirriego de la caña de azúcar en su etapa de cultivo.

## Capítulo II: “Parte Experimental”

En la empresa ALFICSA el principal portador energético es el Crudo nacional (ver Figura No. 2.2), un combustible caracterizado por su alto % de azufre, alta viscosidad y asfaltenos. La combustión de cada tonelada de este producto genera 3.15t de CO<sub>2</sub>, gas causante de diversos cambios climáticos y 0.14t de SO<sub>2</sub>, gas causante de enfermedades respiratorias y de las lluvias ácidas.



**Figura No. 2.2** – Portadores energéticos de ALFICSA (1 TEP = 12 100 kWh).

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la etapa de fermentación para la producción de alcohol se estima un vertimiento de 68kg de CO<sub>2</sub>/hl de alcohol producido, lo que equivale a 61 200kg/día, teniendo en cuenta que la capacidad de producción de ALFICSA es de 900hl/día.

Por otra parte el residual del alcohol (vinaza) altamente contaminante por sus contenido de DBO y Demanda Química de Oxígeno (DQO), se usa en la producción de alimento animal levadura torula en una fabrica aledaña, lo que hace que de usarse correctamente contamine en menor medida el medio ambiente.

Se hace necesario, entonces, considerar el impacto que sobre el medio ambiente tiene la producción de alcohol a partir de un enfoque holístico, es decir, que considere todos los componentes involucrados desde el cultivo de la caña hasta la elaboración y uso del producto; con el fin de proponer variantes de mejora ambiental para mejorar la eco-eficiencia de su producción.

### 2.3 – Procedimiento para desarrollar un ACV

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) está compuesto por cuatro etapas básicas, definidas en la norma NC-ISO 14 040:1997, y descritas en el capítulo anterior:

**Etapas I:** Definición del objetivo y alcance.

**Etapas II:** Análisis del inventario.

**Etapas III:** Evaluación del impacto.

**Etapas IV:** Interpretación de los resultados.

En la Figura No. 2.3, se muestran los 4 elementos que componen la metodología de ACV, en forma de flujo continuo y que sirve de guía para, presentar el procedimiento necesario para desarrollar la presente investigación, enfocando los puntos más significativos de la herramienta utilizada.

A continuación se describe cada una de las etapas básicas para el desarrollo de la herramienta de ACV según se muestra en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 043.

### **2.3.1 – Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance del ACV**

En esta primera etapa deben definirse claramente el objetivo y alcance del estudio de ACV, de modo que sean consistentes con la aplicación que se persigue; para lo cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos en el orden que se plantean.

#### **a) Definir el objetivo del estudio**

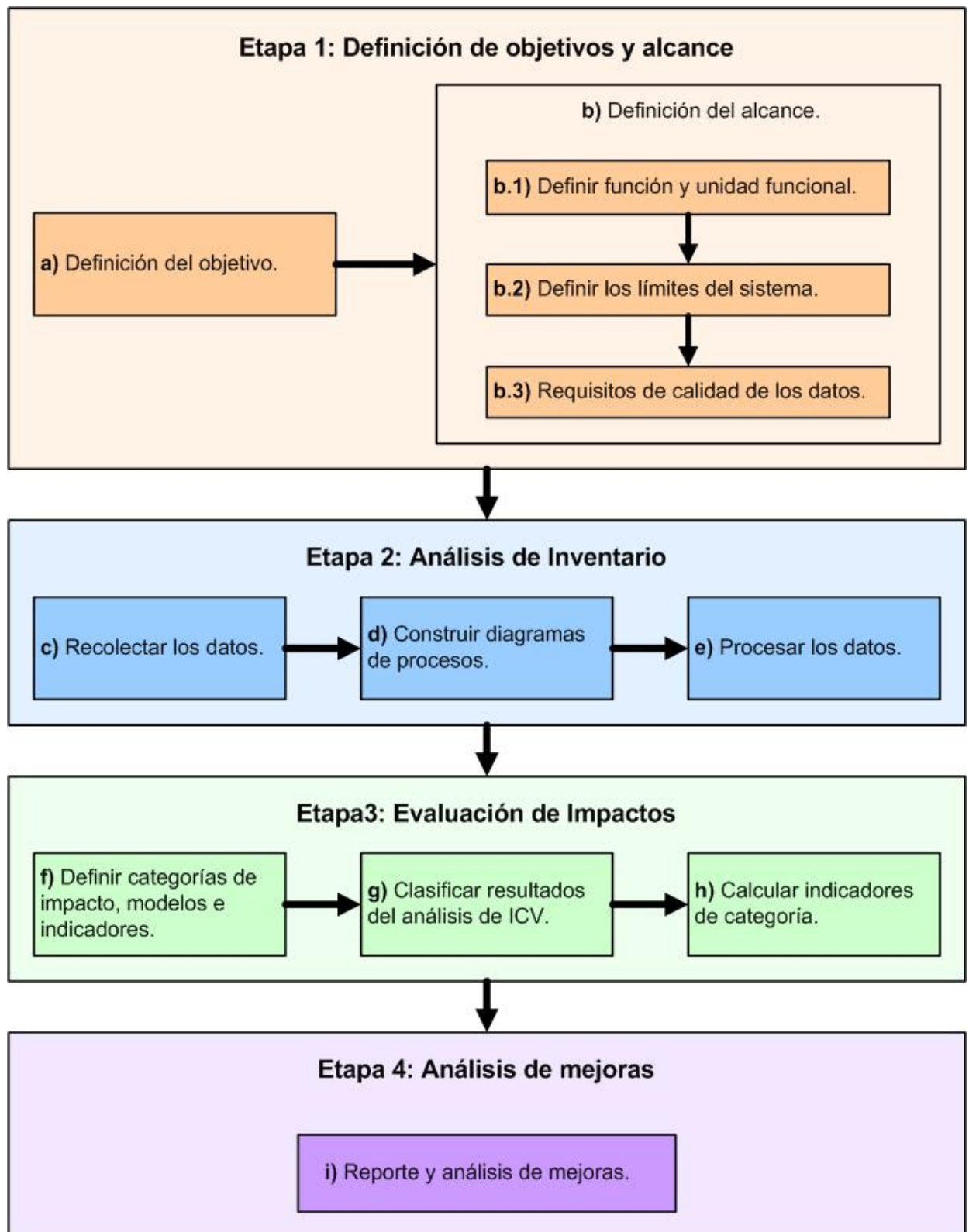
El objetivo de un estudio de ACV debe indicar la aplicación pretendida, las razones para realizar el estudio y el destinatario previsto, es decir, a quién se van a comunicar los resultados del estudio.

En la definición del objetivo deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- La aplicación y las audiencias proyectadas se describen en forma clara. Eso es importante puesto que un estudio que tiene la intención de suministrar datos y que es aplicado internamente puede ser estructurado de una forma bastante diferente en comparación a un estudio que tiene la intención de efectuar comparaciones públicas entre dos productos.
- Las razones para la ejecución del estudio deben ser explicadas claramente. ¿Está el encargado o el actor tratando de comprobar algo? ¿Es la intención del encargado solo suministrar información?, etc.

#### **b) Definir el alcance del estudio**

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente: la unidad funcional, el sistema producto a estudiar, los límites del sistema producto, los procedimientos de asignación; los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, así como la consiguiente interpretación a utilizar; los requisitos iniciales de calidad de los datos.



**Figura 2.3** – Etapas de la metodología ACV. **Fuente:** Elaboración Propia.

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

El alcance debe estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio sean compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo.

### b.1) Definir función y unidad funcional

La unidad funcional define la cuantificación de estas funciones identificadas. La unidad funcional debe ser consistente con el objetivo y alcance del estudio.

Una unidad funcional es una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema producto. El propósito principal de una unidad funcional es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas. Esta referencia es necesaria para asegurar la comparabilidad de los resultados del ACV, la cual es especialmente crítica cuando se analizan distintos sistemas para asegurar que tales comparaciones se hagan sobre una base común.

La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos:

- 1) Identificación de las funciones del producto.
- 2) Selección de una función.
- 3) Determinación de la unidad funcional.
- 4) Identificación del desarrollo del producto.
- 5) Determinación del flujo de referencia.

Para definir la unidad funcional se deben tomar en cuenta aspectos como, la eficiencia del producto, la durabilidad del producto, y el estándar de calidad de desempeño.

El carácter descriptivo de las respuestas a estas cuestiones representa un importante paso documental. En el informe se definen compromisos y responsabilidades para garantizar el empleo ético de los resultados, como también los niveles de accesibilidad de estos resultados.

### b.2) Definir los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan el alcance de la investigación y los procesos unitarios que deben ser incluidos dentro del ACV. En esta etapa deben quedar definidos los límites geográficos, temporales y las etapas que serán excluidas del análisis.

Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

---

modelación del sistema deben ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debe modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. Los criterios usados para establecer los límites del sistema deben identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio.

A fin de reflejar la naturaleza iterativa del ACV, las decisiones referidas a los datos a incluir deben estar basadas en un análisis de sensibilidad, con el objetivo de determinar su importancia. Los límites iniciales del sistema producto deben ser revisados conforme a los criterios de corte establecidos en la definición del alcance. El análisis de sensibilidad puede conllevar a:

- la exclusión de etapas del ciclo de vida o de procesos unitarios cuando su insignificancia puede ser justificada por el análisis de sensibilidad;
- la exclusión de entradas y de salidas sin importancia para los resultados del estudio;
- la inclusión de nuevos procesos unitarios, entradas y salidas que se demuestren ser significativos en el análisis de sensibilidad.

Los resultados de este proceso de afinamiento y del análisis de sensibilidad deben ser documentados. Este análisis sirve para limitar posteriores manipulaciones de aquellos datos de las entradas y salidas que son determinados como significativos para el objetivo del estudio de ACV. Los criterios y las suposiciones sobre los cuales ellos son establecidos deben ser descritos claramente. El efecto potencial de los criterios seleccionados sobre el resultado del estudio debe ser también evaluado y descrito en el informe final.

### b.3) Requisitos de calidad de los datos

Las descripciones de la calidad de los datos son importantes para comprender la fiabilidad de los resultados del estudio y para interpretar apropiadamente el resultado del estudio. Los requisitos de calidad de los datos deben ser especificados a fin de respetar el objetivo y alcance del estudio.

Se recomienda que la calidad de los datos sea caracterizada por aspectos cuantitativos y cualitativos, así como por métodos utilizados para captar e integrar esos datos.

Es necesario tener en cuenta descriptores que definan la naturaleza de los datos, tales como datos compilados en sitios específicos con relación a los datos de fuentes publicadas, y si es conveniente medir, calcular o evaluar los datos.

Se recomienda que los datos de sitios específicos o los promedios representativos sean utilizados para los procesos unitarios que constituyen la mayor parte de los flujos de masa y de energía en los sistemas. Es conveniente igualmente utilizar datos de sitios específicos para los procesos unitarios que son considerados por tener emisiones vinculadas al medio ambiente.

En el estudio, los siguientes requisitos adicionales de calidad de los datos deben ser considerados con

un nivel de detalle que depende de la definición del objetivo y alcance:

- precisión: medición de la variabilidad de los valores de los datos para cada categoría de datos expresados (por ejemplo, varianza);
- representatividad: evaluación cualitativa del grado en el cual el conjunto de datos refleja la población real de interés (por ejemplo, cobertura geográfica, período de tiempo y cobertura tecnológica);
- consistencia: evaluación cualitativa de cómo la uniformidad de la metodología de estudio es aplicada a los diversos componentes del análisis;
- reproducibilidad: evaluación cualitativa de la medida en la cual las informaciones sobre la metodología y los valores de los datos permiten a un realizador independiente reproducir los resultados reportados en el estudio;

Cuando un estudio es utilizado para apoyar una aserción comparativa pública, todos los requisitos relativos a la calidad de los datos antes mencionados deben ser incluidos en el estudio.

### 2.3.2 – Etapa 2: Análisis del inventario

El análisis del inventario comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema producto. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema. Las interpretaciones pueden sacarse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV.

El proceso de realización de un análisis del inventario es iterativo. Cuando se obtienen los datos y se conoce mejor el sistema pueden identificarse nuevos requisitos o limitaciones relativos a los datos que hacen preciso un cambio en el procedimiento de obtención de los datos para que se pueda seguir cumpliendo el objetivo del estudio.

#### c) Recolectar los datos.

La compilación de los datos exige un conocimiento completo de cada proceso unitario. Para evitar los conteos dobles o los olvidos, la descripción de cada proceso unitario debe ser registrada. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio o el fin del proceso unitario, así como la función del proceso unitario. Cuando el proceso unitario tiene entradas múltiples (por ejemplo, entradas múltiples de efluentes hacia una instalación de tratamiento de agua) o salidas múltiples, los datos que conciernen a los procedimientos de asignación deben ser documentadas y comunicadas. Las entradas y salidas de energía deben ser cuantificadas en unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible.

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos.

### d) Construir los diagramas de procesos

Partiendo del principio que los procesos fluyen siempre a otros procesos o al entorno ambiental, trazar un diagrama de flujo inicial del proceso, permite que de forma gráfica se aprecien los flujos del sistema con todas sus entradas y salidas más relevantes, reuniéndose, de este modo, los datos necesarios.

Se recomienda describir inicialmente cada proceso unitario para definir:

- dónde comienza el proceso unitario, en términos de recepción de las materias primas o de los productos intermedios;
- la naturaleza de las transformaciones y operaciones que ocurren como parte del proceso unitario; y
- dónde termina el proceso unitario, en términos del destino de los productos intermedios y finales.

Es conveniente decidir cuáles entradas y salidas de datos son trazadas a otros sistemas producto, incluyendo las decisiones acerca de las asignaciones. Se recomienda describir el sistema con suficiente detalle y claridad para permitir a otro realizador reproducir el inventario.

Las principales categorías de entradas y de salidas cuantificadas para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema son:

- entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas;
- productos;
- emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales.

Es conveniente considerar estas categorías de datos cuando se decide aquellas que serán utilizadas en el estudio. Es conveniente detallar más ampliamente las categorías de datos individuales para satisfacer el objetivo del estudio.

Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV. Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema modelado.

Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

### e) Procesar los datos

Cuando se concluye la compilación de los datos, son necesarios procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar.

A continuación se dan algunas consideraciones importantes sobre los procedimientos de cálculo:

- Los procedimientos de asignación son necesarios cuando se trabaja con sistemas que impliquen varios productos (ej. productos múltiples de la refinación de petróleo). Los flujos de materia y energía, así como las emisiones al ambiente asociadas deben asignarse a los diferentes productos de acuerdo con procedimientos claramente establecidos, que deben ser documentados y justificados.
- El cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía.

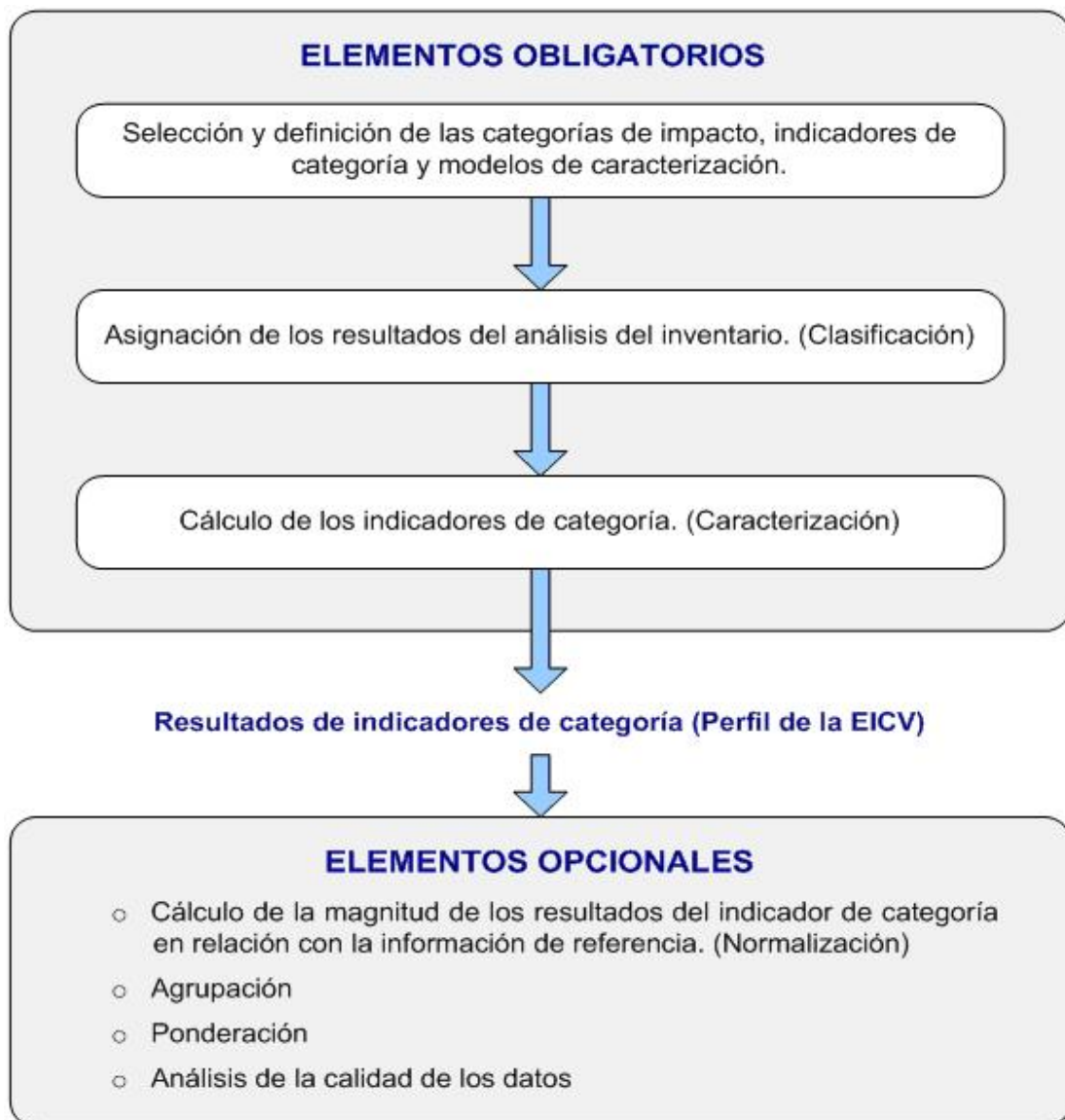
Si no se conocen todos los datos del proceso se recomienda realizar balances de masa en cada etapa del proceso hasta contar con toda la información necesaria para el posterior desarrollo de la investigación.

### **2.3.3 – Etapa 3: Evaluación del impacto**

Este tercer elemento del ACV, tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales. Consta de una fase técnica, considerada obligatoria por la metodología y, otra opcional (de carácter político), por parte del interesado del proyecto. Los resultados tienen un valor informativo añadido para la toma de decisiones.

Como puede observarse en la Figura No. 2.4, propuesta por la NC-ISO 14 042:2001, en esta fase de la metodología del ACV se identifica como obligatorio, cumplir los tres pasos siguientes: selección y definición de las categorías de impacto, incluyendo los indicadores de categoría y modelos de valoración utilizados; clasificación de los resultados del análisis del inventario conocido como la fase de clasificación y el cálculo de los indicadores de categoría, conociéndose este paso como caracterización. Todos estos elementos se describen de forma sintética a continuación, a la vez que se muestran algunos modelos utilizados para el cálculo de los indicadores de

categorías de impacto.



**Figura No. 2.4** – Elementos que componen la valoración del impacto del ACV.

**Fuente:** (NC-ISO14042, 2001)

Asimismo, con respecto a los elementos opcionales e informaciones, mientras sean optativos, también se hacen algunas consideraciones de importancia y pasos a seguir para su elaboración.

f) Definir categorías de impacto, indicadores de la categoría y modelos de estimación

Las categorías de impactos son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, éstos son los objetivos y alcance del ACV.

Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema. Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

Organizado jerárquicamente por el ámbito de acción, a continuación se describen algunas de esas categorías de impacto relacionadas con las salidas de los sistemas, mientras el consumo de energías constituye entradas al sistema sus evaluaciones ocurrirán en el ámbito de sus subsistemas de producción. Asimismo, se indican algunas de las principales sustancias que desencadenan el mecanismo de actuación de las diferentes categorías de impactos señaladas.

### ♦ Efecto global

Uno de los mayores problemas que se pueden presentar es el calentamiento global, el cual trae consecuencias diversas, entre otras, aumento de la temperatura en los polos terrestres con deshielo de los glaciares; aumento del nivel de los océanos con pérdida de territorio de algunos países insulares; propagación de enfermedades tropicales a otros países de clima templado; etc.

### ♦ Efecto regional

Entre las categorías de efecto regional, se encuentran: la Acidificación y la Eutroficación cuyos impactos medioambientales son originados, principalmente, por las emisiones del  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ .

Acidificación: pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.

Eutroficación: La eutroficación se produce cuando los nutrientes (materia orgánica y mineral) se acumulan en los ecosistemas acuáticos. Este aumento de nutrientes en el agua incrementa el crecimiento de plantas que, debido a su respiración, reducen drásticamente los niveles de oxígeno. Los sedimentos provenientes de las aguas residuales domésticas e industriales favorecen la eutroficación.

### ♦ Efecto local

Como ejemplo de las categorías de impactos de efecto local se presenta el mecanismo de impacto desencadenado a través del polvo. Este tipo de contaminante de la atmósfera conduce a una categoría conocida como contaminación del aire por partículas.

Los efectos debidos a las emisiones de partículas sólidas (polvo) al aire resultan perjudiciales para la salud humana y otros seres vivos. A medida que estas partículas se

## *Capítulo II: “Parte Experimental”*

mantienen en suspensión en el aire, y en función de su concentración, al ser respiradas por los seres vivos pueden causar daños irreversibles al sistema respiratorio. Entre las molestias registradas está la “silicosis”, que según informes médicos se produce en el individuo que aspira aire de atmósferas cargadas de partículas que contienen sílice ( $\text{SiO}_2$ ). En los especímenes vegetales estas partículas se depositan sobre las hojas obstruyendo el sistema de respiración de las plantas.

Entre las emisiones que provocan este tipo de impacto se encuentran el polvo, el hollín u otras partículas finas que no captan los filtros y salen por las chimeneas o se originan durante la extracción de recursos.

### g) Clasificar resultados del análisis del inventario.

El segundo paso trazado en la metodología se conoce con el término de clasificación. En esta, los resultados del inventario se asignan respectivamente a cada una de las categorías de impactos previamente seleccionadas.

El procedimiento consiste en identificar y correlacionar todas las cargas ambientales a una o más categorías de impactos potenciales, es un procedimiento de rutina que se asigna a la totalidad de las cargas ambientales del sistema analizado.

Esta evaluación puede incluir el proceso iterativo de revisión del objetivo y alcance del estudio del ACV para determinar cuándo los objetivos del estudio se han cumplido y, en el caso de no alcanzarlos, para modificar el objetivo y alcance del estudio.

La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- asignación de los datos del inventario a categorías de impacto (clasificación);
- modelación de los datos del inventario dentro de categorías de impacto (caracterización);
- posible agregación de los resultados en casos concretos y sólo cuando proceda (valoración).

### h) Calcular los indicadores de categoría

El último paso a seguir se conoce como Caracterización, el cual se lleva a cabo mediante la aplicación de los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase de clasificación del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta

categoría de impacto.

En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, miden la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

### 2.3.3.1 – Métodos para evaluar el impacto ambiental

En la investigación se procederá a comparar cuatro métodos distintos para evaluar el impacto ambiental, con los cuales se realizará cada paso descrito anteriormente. Estas metodologías son: CML, Ecoindicador 99, EDIP, IMPACT 2002+; de estas metodologías solo IMPACT 2002+ y Ecoindicador 99 están enfocadas a categorías de daño o puntos finales, las restantes se enfocan a puntos intermedios.

A continuación se describen las metodologías a utilizar:

- ↳ **CML** Metodología del Centro de Estudios ambientales desarrollada en la Universidad de Leiden, Holanda 1992.

Es la base de la mayoría de los métodos de EICV. Ha sido actualizado en 2001 y la más reciente actualización se realizó en el 2003. Es un método compatible con los estándares ISO. La clasificación se basa en principios científicos, dentro de la comunidad de la SETAC. Es un método de punto intermedio en el cual se definen las siguientes categorías de impacto:

- agotamiento de la capa de ozono,
- toxicidad humana,
- ecotoxicidad,
- calentamiento global,
- acidificación,
- eutroficación,
- formación de smog fotoquímico,
- uso de energía,
- residuos sólidos, y
- reducción de recursos abióticos.

### Normalización

Los datos de normalización son divididos para 3 regiones: Holanda, Europa Occidental y el mundo.

Indica que los valores de referencia difieren en escalas temporales, por las medidas empíricas o datos estadísticos.

Las categorías de impacto globales son normalizadas en base a valores de referencia globales y las de impacto regional en base a valores de referencia regional.

Los resultados de los indicadores ambientales son normalizados, relacionando la magnitud del problema en un periodo dado.

$$\text{Resultado del indicador normalizado (año)} = \frac{\text{Resultado del indicador (kg)}}{\text{Volumen Anual (Kg/año)}}$$

### **Eco-indicador**

Objetivo principal: comparar las diferencias relativas entre sistemas y sus componentes.

Se enfoca a categorías finales o de daños. Determina un solo valor que indica el impacto ambiental total basado en los efectos calculados (ICV). Cumple con los requisitos de las normas ISO 14 040 – 14 044. Los valores de los eco-indicadores son cifras sin dimensión. Como base se utiliza el punto Ecoindicador (Pt). El valor de 1 Pt representa una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo.

El método de evaluación para calcular el Eco-indicador se enfoca en los efectos de emisiones en el ecosistema. Los objetivos se basan en datos científicos sobre daños medioambientales y no en declaraciones políticas. El valor de los objetivos son relacionados a tres tipos de daños medioambientales: deterioro de ecosistemas, deterioro de la salud humana, daño a recursos minerales y fósiles; y 11 categorías de impacto que son:

- carcinógenos,
- respiración de orgánicos,
- respiración de inorgánicos,
- cambio climático,
- radiación,
- agotamiento de la capa de ozono,
- ecotoxicidad,

- acidificación,
- eutroficación,
- uso de la tierra, minerales y combustibles fósiles.

### Caracterización

Multiplicación del factor de caracterización por el tamaño de la intervención (emisión, extracción, uso de suelo).

$$S_j = \sum_i Q_{ji} m_i$$

Donde:

$S_j$ : Resultado del indicador

$j$ : Categoría de impacto

$m_i$ : Tamaño de la intervención de tipo  $i$  (masa de una sustancia emitida)

$Q_{ji}$ : Factor de caracterización que relaciona la intervención  $i$  con la categoría  $j$ .

### Normalización

Consiste en 2 pasos:

1. Encontrar las emisiones totales y consumo de recursos de un sistema durante un periodo de referencia (usualmente un año).
2. Calcular las categorías de impacto utilizando los factores normalizados.

La fórmula general es:

$$N = \frac{RI_{cat}}{VR_{cat}}$$

Donde:

$RI_{cat}$ : Resultado obtenido de cada categoría de año

$VR_{cat}$ : Valor de referencia

## Capítulo II: “Parte Experimental”

Para calcular los Ecoindicadores es necesario seguir tres pasos:

1. Inventario de las emisiones relevantes, la extracción de recursos y el uso del suelo de todos los procesos incluidos en el ciclo de vida de un producto. Es un procedimiento estándar de los LCA.
2. Cálculo de los daños que pueden causar esos flujos a la salud humana, a la calidad del Ecosistema y a los recursos.
3. Ponderación de las tres categorías de daño.

↳ **EDIP** (Environmental Design f Industrial Products) desarrollado en Dinamarca en 1996.

Enfocado al desarrollo de productos. Recomendaba evitar la asignación de cargas ambientales. Relación entre causa y efecto. Asigna los cambios ambientales a los procesos. El consumo de recursos se expresa como recursos 100% puros. Los datos corresponden a procesos unitarios.

Es un método de punto intermedio. Representa diferentes categorías de impacto entre las que se encuentran:

- calentamiento global,
- deterioro de la capa de ozono,
- eutrofización terrestre y acuática,
- toxicidad humana (exposición al aire, agua y tierra),
- ecotoxicidad (agua aguda, agua crónica, tierra crónica),
- acidificación,
- formación de ozono fotoquímico (humana y vegetación)

Esta metodología propone el uso del ACV como herramienta clave de ayuda a la toma de decisiones de carácter medioambiental por parte del diseñador. Así aunque el ACV se considera generalmente como una herramienta de evaluación medioambiental, el EDIP realiza un esfuerzo de adaptación e integración de esta en el proceso de desarrollo de productos. Por este motivo las etapas en las que se estructura coinciden con las fases del ACV: objetivo y alcance, inventario, evaluación de impactos y propuestas de mejora.

### Normalización

Referencias de normalización: los impactos de la sociedad al ambiente cada año.

## Capítulo II: “Parte Experimental”

En orden de aplicar una escala comparable para categorías de impacto global (basado en emisiones globales) y local (basado en emisiones regionales), los impactos ambientales potenciales son divididos por la población de una región donde fueron calculados.

El impacto ambiental potencial para emisiones actuales es expresado en equivalentes de personas para la categoría de impacto.

### Ponderación

Utiliza dos niveles de impactos sobre el ambiente:

- Objetivos políticos: comprende las emisiones totales permisibles.
- Capacidad de impacto: emisión total que no provoca ningún impacto detectable en el

Para calcular el factor de ponderación se utiliza la siguiente fórmula:

$$WP_i = \frac{EA_i}{EP_i}$$

Donde:

$WP_i$ : Factor de ponderación para cada categoría de impacto  $i$

$EA_i$ : Emisiones actuales en el año de referencia para cada categoría de impacto

$EP_i$ : Emisiones proyectadas en el año de referencia para cada categoría de impacto

### **Impact 2002+**

Es una metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, esta metodología propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías (salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de 14 puntos intermedios:

- efectos respiratorios,
- toxicidad humana,
- oxidación fotoquímica,
- deterioro de la capa de ozono,
- ecotoxicidad acuática y terrestre,
- acidificación,

- eutroficación,
- uso de la tierra,
- calentamiento global,
- extracción de minerales,
- energías no renovables, y
- radiaciones ionizantes.

### Caracterización

Los factores de caracterización de daños pueden ser obtenidos al multiplicar el punto intermedio potencial de caracterización con los factores de caracterización de daño de las sustancias referenciadas.

### Normalización

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión.

Los pasos operativos para que se lleve a cabo el análisis de ciclo de vida de un sistema o producto, incluyen el manejo de gran cantidad de datos de los inventarios, seguidos de diversas operaciones de cálculos que se aplican a los factores de caracterización, índices de categoría, etc., como se ha indicado en apartados anteriores. Estos aspectos son más viables con el soporte de sistemas informáticos que faciliten las tareas a realizar. En el desarrollo de la metodología debe definirse el software a aplicar.

#### **2.3.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras**

El ACV se finaliza con el análisis de todos los datos finales con respecto a sus significados, incertidumbres y sensibilidad sobre los resultados parciales.

En esta última fase los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados y analizados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que

anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario del ciclo de vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance del estudio.

La fase de interpretación puede abarcar el proceso iterativo de examen y revisión del alcance del ACV, así como la naturaleza y calidad de los datos obtenidos de acuerdo con el objetivo definido.

Aunque las acciones y decisiones subsecuentes pueden incorporar implicaciones ambientales identificadas en los resultados de la interpretación, se mantienen fuera del alcance del estudio de ACV, en tanto que otros factores, como la realización técnica y los aspectos económicos y sociales también se consideran.

i) Reporte y análisis de mejoras.

En el reporte de la investigación deben definirse:

- Principales emisiones y desechos producidos durante el proceso productivo.
- Posibles problemas ambientales potenciales.
- Soluciones dadas para la minimización o tratamiento de estos residuos y desechos.
- Verificación de la disminución del impacto.
- Análisis de la factibilidad técnica y económica de la propuesta de mejora, si es posible.

### **Conclusiones Parciales del Capítulo II**

1. Se hace una caracterización general de la Empresa de Alcoholes ALFICSA, concluyendo que la misma cumple con su visión y misión, como empresa líder de la producción de alcohol de alta calidad en Cuba con fines a las industrias licoreras, farmacéuticas y de cosméticos de todo el mundo, y además con un buen reconocimiento social por parte de trabajadores y comunidad aledaña.
2. Los problemas ambientales que enfrenta el ciclo de vida de la producción de alcohol están asociados con los contaminantes generados por los consumos de energía, fertilizantes y herbicidas en el proceso de cultivo de la caña, los residuales líquidos y el bagacillo producido durante el proceso de producción de melaza, y las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas durante los procesos de fermentación del etanol, así como las emisiones de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> debido al consumo de petróleo crudo cubano para la generación de vapor en las calderas de ALFICSA.
3. Es posible analizar el ciclo de vida del alcohol de ALFICSA y valorar diferentes variantes de mejoras ambientales utilizando la metodología propuesta por la serie NC-ISO 14 040 y aplicando el software Simapro 7.1.

## **CAPÍTULO III**

### **Capítulo III: “Análisis de los resultados”**

En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del alcohol en la empresa ALFICSA, se comparan diferentes métodos de evaluación ambiental y se valoran variantes de mejora ambiental para la producción de alcohol.

#### **3.1 – Etapa 1: Definición de objetivos y alcance**

##### **3.1.1 – Objetivo del estudio**

El presente estudio de análisis de ciclo de vida ha sido solicitado por la Empresa de Alcoholes Finos de Caña ALFICSA, con la colaboración del Ministerio de la Industria del Azúcar (MINAZ), específicamente del CAI “Antonio Sánchez” y el Instituto de Investigación del Cultivo de la Caña (INICA).

Los objetivos del estudio son:

1. Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales de la elaboración de alcohol obtenido de la caña de azúcar a lo largo de todo su ciclo de vida.
2. Valorar variantes de mejora para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida una vez detectados los impactos en cada fase del proceso.

##### **3.1.2 – Alcance del estudio**

El alcance del estudio abarca los siguientes aspectos:

- Funciones del sistema estudiado

El uso final del producto será como materia prima de alta calidad a las industrias de licores, farmacéuticas, de cosméticos y alimenticia; siendo los principales clientes nacionales: Suchel, Cuba ron y Habana Club.

- Unidad funcional

La unidad funcional de este Análisis de Ciclo de Vida es la cantidad de alcohol que se produce en un día en la Empresa de Alcoholes Finos de Caña ALFICSA, lo que equivale aproximadamente a 68.38t.

Para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica:

- Fase agrícola, cultivo de la caña de azúcar: t de caña.
- Producción de Miel B (melaza): t de miel.
- Elaboración de alcohol: t de alcohol.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

#### *- Definición de los límites del sistema*

Los límites del sistema se definen según la información que se tiene y los objetivos que se pretenden alcanzar definidos anteriormente. A continuación se definen los límites del sistema estudiado.

#### *Límites geográficos*

El Análisis de Ciclo de Vida realizado se limita a la elaboración de alcohol en la Empresa de Alcoholes Finos de Caña ALFICSA, perteneciente al municipio de Aguada de Pasajeros; pero esto no quiere decir que todas las etapas del ciclo de vida se limiten a este ámbito geográfico, pues el ciclo de vida del alcohol incluye el uso de crudo nacional como portador energético para la generación del vapor usado en el proceso tecnológico del alcohol y diesel.

#### *Límites temporales*

El horizonte temporal considerado es el año 2009.

#### *Etapas excluidas del análisis*

Para este estudio quedan excluidas: las cargas ambientales relativas a la fabricación y mantenimiento de las maquinarias e infraestructuras necesarias para el cultivo de la caña de azúcar, los vehículos de transporte, las instalaciones de la transformación de la caña para la obtención del etanol, la producción de fertilizantes y herbicidas, y las implicaciones de circulación, distribución y consumo del producto final (alcohol).

#### *El suelo como parte del sistema productivo*

Se ha incluido el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático al considerarlo parte del sistema productivo y parte del medio ambiente.

#### *- Calidad de los datos*

Los datos han sido recogidos de instalaciones productivas específicas vinculadas a los procesos. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera sea importante y cuyas emisiones se espera sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en el cultivo de la caña de azúcar, en la elaboración de melaza y la transformación a etanol. Para ello se han solicitado datos a las siguientes entidades:

- Empresa Mixta de Alcoholes Finos de Caña ALFICSA en Aguada de Pasajeros.
- CAI “Antonio Sánchez” en Aguada de Pasajeros.
- Instituto de Investigación del Cultivo de la Caña (INICA) en Cienfuegos
- Dirección Provincial de Cienfuegos del Ministerio de la Industria del Azúcar (MINAZ)

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

El presente estudio de ACV se ha realizado utilizando una herramienta informática comercial denominada SimaPro 7.1.

SimaPro es una herramienta desarrollada por Pré Consultants para el Análisis de Ciclo de Vida que analiza y compara los aspectos medioambientales de un producto de una manera sistemática siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14 040.

Se utilizan bases de datos publicadas y disponibles en la herramienta informática SimaPro 7.1 para los procesos más comunes como combustibles y productos químicos. Las bases de datos usadas son:

- Ecoinvent unit process
- ETH-ESU 96
- IDEMAT 2001

#### **3.2 – Etapa 2: Análisis del inventario**

##### **3.2.1 – Recolectar los datos**

En el proceso de recolección de los datos necesarios para la investigación se procede primeramente a describir cada uno de los procesos involucrados en el ciclo de vida de la elaboración de alcohol.

##### **3.2.1.1 – Descripción del proceso de cultivo de la caña**

El cultivo de la caña es la etapa inicial de suma importancia, en esta intervienen parámetros que se deben cumplir según se recomienda por el Instituto de Investigación del Cultivo de la Caña (INICA) y los respectivos Servicios de Recomendaciones para lograr un alto rendimiento de la caña. A continuación se describe cualitativa y cuantitativamente el proceso.

##### **1. Preparación de suelos**

Tiene por objetivo fundamental formar el lecho adecuado para la siembra, eliminar las malezas y crear condiciones para el posterior desarrollo de la plantación. Sus características se determinan en función del relieve, el clima, los suelos y propiedades físicas, químicas y principales factores limitantes.

Las principales operaciones son:

- descepe o descorone, rotura, cruce, recrue y subsolado;
- mullido y eliminación de brotes de malezas; y
- surcado.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

Actualmente la gran mayoría de las áreas a plantar se preparan con técnicas de laboreo mínimo, el cual debe incluir la aplicación de glifosato según recomienda el Servicio de Recomendaciones del Control Integral de Malezas (SERCIM). Para este año en Antonio Sánchez se aplican 1.32L/ha de glifosato. En las labores se consumen 290.38 L/ha de diesel en el uso de los equipos: MAU-250C (multigrado universal cañero), Grada de 1200kg y surcador triple.

#### 2. Plantación

En las condiciones climatológicas de Cuba nace el 40% de las yemas que se plantan, por tanto el método más utilizado es triple trozo punta con punta, es decir a surco corrido y a 1.60m entre ellos alcanzando entre 9 – 10 t/ha de semilla.

Las actividades que se realizan son:

- corte, despajo, selección, transportación y pique de la semilla
- fertilizar el fondo del surco con fósforo y potasio
- plantar la semilla en el surco (la semilla debe tener de 35 - 40cm de largo)
- tape y retape de las estacas plantadas

Existen muchas variedades de semillas, creadas para buscar un mayor rendimiento de la caña de azúcar de acuerdo a las condiciones del terreno donde se van a plantar. Específicamente en Antonio Sánchez las principales variedades que se plantan son C86-12 con un 38.9% y C323-68 con un 23.1%, siendo estas las recomendadas por el Servicio de Recomendaciones de Variedades y Semillas (SERVAS), ocupando un total de 9 961.70ha. Actualmente, el 92% de las variedades en producción son cubanas y sólo el 8% de ellas proceden del extranjero.

La plantación se realiza de forma manual y se divide en dos etapas:

Primavera: del 1<sup>ro</sup> de Enero hasta el 30 de Junio.

Frío: del 1<sup>ro</sup> de Julio hasta el 31 de Diciembre.

Los suelos en Antonio Sánchez se dividen en 8 600ha de suelos ferralíticos y 1 200ha de sialitizados cálcicos; debido a que predominan los suelos rojos se recomienda plantar más del 70% en la etapa de frío.

En el proceso de plantación se consumen 95.5 L/ha de diesel por el uso de equipos de siembra.

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

#### 3. Control de malezas

Esta operación se realiza con el fin de eliminar todas las malezas o malas hierbas que dañan la planta y le impiden su desarrollo y crecimiento.

Para dicha labor se aplican distintos herbicidas de acuerdo al tipo de maleza y al estado de la planta. Antes de ser utilizados estos herbicidas son probados por el Instituto de Sanidad Vegetal y el Instituto de Investigación de la Caña (INICA) para determinar la cantidad necesaria que debe ser utilizada para eliminar las malezas sin dañar el medio ambiente.

En Antonio Sánchez se aplican los herbicidas que aparecen en la Tabla No. 3.1.

**Tabla No. 3.1** – Herbicidas utilizados en el cultivo de la caña en el CAI “Antonio Sánchez”.

**Fuente:** (INICA, 2007)

| Herbicidas sólidos (kg/ha)    |             | Herbicidas líquidos (L/ha)        |             |
|-------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| Diurón (pre-emergente)        | 0.91        | Finale (post-emergente)           | 0.66        |
| Ametrina (post-emergente)     | 1.11        | Asulam (pre-emergente)            | 0.55        |
| Amigan (pre y post-emergente) | 0.18        | Hexazinona (pre y post-emergente) | 0.27        |
| Merlín (post-emergente)       | 0.09        | MSMA (post-emergente)             | 1.38        |
| Envoke (post-emergente)       | 0.007       | Esterol (post-emergente)          | 1.08        |
| Doblete (post-emergente)      | 0.19        | Sal de Amina (post-emergente)     | 0.99        |
|                               |             | Acidificantes (post-emergente)    | 0.09        |
| <b>Total</b>                  | <b>2.49</b> | <b>Total</b>                      | <b>5.02</b> |

En la aplicación de estos herbicidas se consumen 6.6 L/ha de diesel en el uso de aspejadoras (mañez-lozano) y mochilas.

#### 4. Riego

La técnica más utilizada en nuestro país es el riego tradicional por surcos, la cual consiste en la entrega y distribución de agua en los surcos por medio de guatacas o tridentes, sus longitudes son variables entre 250 – 500m. También se utiliza el riego por gravedad, pero este requiere más control y preparar el suelo de forma diferente, debido a que se corre el riesgo de que el agua se acumule en la zona más baja del surco. En esta labor se utiliza de 3 000 – 5 000 m<sup>3</sup>/ha en todo el ciclo de vida de la planta y se consumen 147.14 L/ha de diesel.

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

#### 5. Aplicación de fertilizantes

La caña de azúcar, como toda especie vegetal, requiere un conjunto de nutrientes para su desarrollo y crecimiento, cuyas necesidades varían cuantitativamente, ya que algunos elementos que se consumen en cantidades muy pequeñas son también indispensables para el desarrollo de las plantaciones.

En la fertilización se pueden utilizar fertilizantes de origen mineral y de origen orgánico.

Los fertilizantes minerales utilizados en el cultivo de la caña se muestran en la Tabla No. 3.2.

**Tabla No. 3.2** – Fertilizantes utilizados en el cultivo de la caña en el CAI “Antonio Sánchez”.

**Fuente:** (INICA, 2009)

| Nutrimiento Activo                                    | Dosis (kg/ha) | Portador                    | Dosis (kg/ha) | Área (ha)       | Volumen (t)    |
|-------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------|----------------|
| Nitrógeno (N)                                         | 64.30         | Urea                        | 139.8         | 6477.53         | 905.54         |
|                                                       |               | Nitrato de Amonio           | 189.14        | 6477.53         | 1225.15        |
|                                                       |               | Amoniaco (NH <sub>3</sub> ) | 77.3          | 4279.94         | 330.84         |
| Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 37.9          | Superfosfato triple (SPT)   | 82.38         | 7157.71         | 589.65         |
| Monóxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)                | 80.9          | Cloruro de Potasio (KCl)    | 133.35        | 7100.14         | 946.81         |
| <b>Total</b>                                          | <b>183.1</b>  | <b>Total</b>                | <b>621.97</b> | <b>31492.85</b> | <b>3997.99</b> |

De estos fertilizantes se conoce que:

Nitrógeno: fundamental para el crecimiento y desarrollo vegetativo, vinculado a la formación de la biomasa – tallos y hojas principalmente. Si se deja de utilizar se disminuye el rendimiento de un 15 – 18%.

Fósforo: necesario para el desarrollo radical y todo el proceso bioenergético. Si se deja de aplicar se disminuye el rendimiento de un 9 – 11%.

Potasio: fundamental como regulador hídrico y enzimático vinculado a la acumulación de sacarosa en los tallos. Si se deja de emplear se disminuye el rendimiento de un 8 – 10%.

La fertilización orgánica se realiza aplicando el compost o cachaza en el fondo de los surcos durante la plantación. Se recomienda la aplicación de 5 – 10t de compost o de 25 – 40t de

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

cachaza por hectárea. La aplicación de 10t/ha debe suplir la fertilización química durante un ciclo productivo. Si la aplicación de compost se complementa con los fertilizantes químicos se obtendrá un incremento del rendimiento cercano al 15%.

La fertilización con vinazas se aplica mediante el fertirriego diluyéndola como mínimo en proporción de 1/5 con norma aproximadamente de 40m<sup>3</sup>/ha, para esto se emplean camiones cisternas.

En la aplicación de fertilizantes se utilizan los equipos: tractor Yunz o MTZ-80 con fertilizadora F-350 o fertilizadora brasileña de última generación y se consumen 39.61 lts/ha de diesel.

#### 6. Corte y cosecha

El sistema de cosecha empleado presenta dos vías principales de suministro de caña a la fábrica:

- el corte por maquina combinada y su envío directo a la fabrica; y
- el corte manual o de combinada, su envío a los centros de limpieza en seco y de estos a la fábrica.

En ambos casos no se realiza una separación total de estos residuos, denominándose como materias extrañas aquellos que llegan al central. En el desarrollo de ambos casos se utilizan como equipos: KTP-2M o Case y Jonhdeere, y se consumen 8.01 L/ha de diesel.

La paja extraída queda sobre el suelo en forma de una cubierta protectora que realiza una importante función de conservación de la humedad, evita la erosión y contribuye a la lucha contra malas hierbas.

Una segunda limpieza de la caña se lleva a cabo en los llamados centros de acopio, donde además se realiza un trasbordo a los carros de ferrocarril que transportan la caña al central azucarero, una parte significativa de estos residuos se utiliza como forraje para el ganado vacuno, de gran importancia por coincidir en la época de sequía.

En el Anexo No. 11 se ofrece la tabla de entradas y salidas del proceso descrito anteriormente, mostrándose las cantidades reales correspondientes al cultivo de la caña en el CAI “Antonio Sánchez”, y el valor calculado necesario para la obtención de 1t de Caña de Azúcar.

#### **3.2.1.2 – Descripción del proceso de producción de melaza (miel B)**

La melaza es un producto final obtenido en el período de zafra que ocurre una vez al año, para esta descripción se toman los datos correspondientes a la zafra del año 2009 con una duración de 89 días.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

#### 1. Recepción de la Caña

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

#### 2. Picado de Caña

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giradoras que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño mas uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

#### 3. Molienda

La caña preparada por las picadoras llega a los molinos, constituido cada uno de ellos por dos o tres mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña.

Cada molino está equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua de imbibición, generalmente caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Éste proceso de extracción es llamado maceración.

En la zafra de este año en el CAI “Antonio Sánchez” se molieron 204 522.60t de caña de azúcar.

De este proceso se obtiene el bagazo 77 064.12t que representa un 37.68% de la caña molida.

El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego se va a las calderas como combustible, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos.

#### 4. Clarificación/Purificación

La clarificación del jugo se da por sedimentación; y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Éste jugo sobrante se envía a los evaporadores y la cachaza sedimentada que todavía contiene sacarosa pasa a un proceso de filtración antes de ser desechada al campo para el mejoramiento de los suelos pobres en materia orgánica.

Para el desarrollo de este proceso se adiciona lechada de cal (CaO) 0.7kg/tcaña que eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa y ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que vienen en el jugo.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

Como resultado de este proceso se obtiene la cachaza un 2.75% del total de caña molida y el jugo purificado.

#### 5. Evaporación

Se comienza a evaporar el agua del jugo. Se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 y 12% y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60%. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura.

Se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie.

La meladura es purificada en un clarificador. La operación es similar a la anterior para clarificar el jugo filtrado.

#### 6. Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, recipientes al vacío de un solo efecto con la adición de Cristal 600.

El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida.

El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

#### 7. Centrifugación

La masa pasa por las centrífugas, máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una masa centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores.

La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos.

Al cabo de dos cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel final (melaza) que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes.

Para la determinación de todas las entradas y salidas a cada operación del proceso es necesario realizar un balance de masa.

En el Anexo No. 12 se brinda la tabla de entradas y salidas del proceso explicado anteriormente, mostrándose las cantidades reales de la zafra del año 2009 en el CAI “Antonio Sánchez” con una duración de 89 días, y el valor calculado necesario para la obtención de 1t de Melaza o Miel B.

#### **3.2.1.3 – Descripción del proceso de elaboración de alcohol**

La melaza necesaria para la producción de alcohol es comprada y transportada en camiones cisternas con capacidad de 18-22t y en trenes torbas o isotanques con capacidad de 50t; cuando llega a la Empresa de Alcoholes Finos se recepciona, pesa y almacena para su uso en el proceso productivo que se explica a continuación. Debido a la cercanía de las dos fábricas no fue considerada la transportación de la miel B o miel final.

##### **1. Preparación de Mostos**

La melaza (353t), procedente de los depósitos generales de almacenamiento, es bombea al proceso de Preparación de Mosto. Una vez que la melaza es bombeada a la preparación de mosto, primero pasa por un flujómetro transmisor de caudal de tipo magnético, de tal manera que se puede medir y cuantificar la cantidad de melaza que se esta adicionando al proceso.

La melaza se mezcla con el agua cruda previamente tratada, clorada para evitar contaminaciones naturales, esto es regulado por medio de una válvula. Esta agua también tiene la opción de poder acidularse previamente, directamente con el Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 2842kg que se le agrega.

La melaza prediluida a 40°Brix a continuación entra en un calentador, donde se eleva su temperatura mediante aporte de vapor directo de la caldera, la cual consume crudo nacional, hasta alcanzar una temperatura entre 80 y 90 grados. Este mosto se almacena en un depósito de manera que tenga un tiempo de residencia de aproximadamente 1 hora para que el número de células no deseables existentes después de esa pasteurización sea el menor posible.

A la salida el mosto a 40°Brix es regulado por una válvula, en otra línea se diluye hasta 16°Brix, el control envía una señal a la válvula automática de agua de dilución, para la alimentación continua del Mosto a 16°Brix a las Cubas Madres.

En este mezclador y solamente en el mosto para la Cuba Madre es donde se adicionan los nutrientes (urea 600kg, sulfato de amonio 113.22kg y fosfato de amonio 113.22kg). Estas sales se disuelven con agua previamente en un depósito, y las bombas dosificadoras se encargan de adicionar regularmente la cantidad necesaria de nutrientes para la producción de Mosto.

##### **2. Fermentación semicontinua**

El mosto a 16°Brix entra a un deposito donde es preparada la cuba madre, esta es airada con el soplante, pasado el tiempo máximo de reposo de este proceso el cual es enfriado para mantener la temperatura cerca de los 35 °C.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

La entrada del mosto es regulada por una válvula al 20% de su totalidad en el depósito donde después de estar su densidad baja debido a la fermentación se añade el mosto de 24 Brix a un 30-40% de su totalidad donde continúa la fermentación pero con nueva alimentación, este procedimiento es enfriado. Luego es bombeado el vino obtenido y en el mismo momento se abre la válvula de salida de CO<sub>2</sub> según lo requiera, y transcurrido un tiempo (cuando el brix sea la mitad +1 del inicial) se completa el volumen de trabajo del fermentador.

Durante el tiempo que se está efectuando la fermentación en el depósito, se le suministra mosto de 16°Brix al depósito de la misma manera que el anterior, y así sucesivamente se va realizando el procedimiento para los 10 fermentadores instalados en la planta, este proceso semicontinuo en la Sala de fermentación, (Con un ciclo de fermentación entre las 35 a 40 horas) garantiza que siempre existan fermentadores muertos en espera para ser destilados para no ocasionar paradas en la fábrica, ya que en general la misma opera a régimen continuo.

El mosto fermentado o vino de los fermentadores ya muertos y que han tenido un reposo de 1 a 2 horas es bombeado a la etapa de destilación de inmediato. Los fondajes de los fermentadores se unen a la corriente de vinazas que se envía a la fábrica de Levadura Torula.

En este proceso se emiten 60t de CO<sub>2</sub> diariamente.

#### 3. Destilación - Rectificación

El vino, penetra en un calienta-vino donde se aumenta su temperatura, a fin de disminuir la cantidad de vapor necesario en la columna destrozadora. Una vez el vino caliente a su caudal medido y regulado penetra en una columna de agotamiento (Columna destiladora o destrozadora) simple con des-gasificación. Esta columna se mantiene bajo vacío, esto representa varias ventajas, entre ellas la de disminuir los peligros de incrustación por precipitación de sales de calcio, permitir funcionar en doble efecto y por último mejorar considerablemente la extracción de gases disueltos en el mosto, tales como CO<sub>2</sub>.

Las vinazas (1141.37t) salen por el pie de la columna a través de un sello hidráulico y se envían a la fábrica de Levadura.

El alcohol integral o centro pasa bajo forma de vapor a una columna de alto grado. Los vapores producidos en esta columna se condensan. Los condensados se dividen en dos: una parte representa el reflujo y la otra el alcohol centro. El alcohol (68.38t) centro llega a la rectificadora impulsado por una bomba, donde se concentra hasta 96,3°G.L.

En el Anexo No. 13 se puede observar la tabla de entradas y salidas del proceso expuesto anteriormente, mostrándose las cantidades reales para un día de producción en la Empresa Mixta de Alcoholes Finos de Caña ALFICSA, y el valor calculado necesario para la obtención de

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

1t de alcohol. Además en el Anexo No. 14 se caracterizan las materias primas y productos finales de la producción de alcohol.

#### **3.2.2 – Construcción de los diagramas de procesos**

Con la información expuesta anteriormente se está en condiciones de elaborar el inventario del proceso de elaboración de etanol de la caña de azúcar (ver Anexo No. 15), en el mismo se recogen todas las materias primas, el uso de energía, combustible y las salidas o emisiones de cada uno de los procesos que intervienen en el ciclo de vida estudiado.

La descripción de las operaciones que se llevan a cabo en cada proceso: cultivo de la caña, producción de la melaza y elaboración del alcohol, sirven de base para diagramar dichos procesos, los cuales muestran de forma gráfica toda la información abordada hasta ahora. En el Anexo No. 16 se representa el ciclo de vida del etanol, indicándose cada una de las fases del mismo; en el Anexo No. 17 está representado el proceso del cultivo de la caña de azúcar; en el Anexo No. 18 se muestran las etapas del proceso de producción de melaza o miel B; y en el Anexo No. 19 es posible observar de forma esquemática y detallada la elaboración de etanol según se realiza en la Empresa ALFICSA. Cada uno de estos procesos están enfocados a la obtención de 1t de producto final: caña de azúcar, melaza y etanol; además están definidos los límites del sistema según quedaron definidos en la etapa de definición del alcance del estudio.

#### **3.2.3 – Procesar los datos**

Con toda la información necesaria para el estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados se procede a incluir los datos en el software SimaPro 7.1, con el cual se procesan los datos para evaluar el impacto ambiental de la producción de alcohol, para luego valorar variantes de mejora ambiental.

#### **3.3 – Etapa 3: Evaluación del impacto**

Una descripción de la relevancia ambiental de las categorías de impacto es esencial para cada análisis de ciclo de vida. En un análisis de ciclo de vida de la elaboración de etanol, los siguientes temas ambientales son relevantes:

- Uso de la tierra para la plantación de la caña de azúcar.
- Uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad, el transporte de materiales y el empleo de equipos en las labores de cultivo.
- Calentamiento Global o Efecto Invernadero.
- Acidificación acuática y terrestre.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

- Eutroficación.
- Respiración de sustancias inorgánicas.

Además es conveniente conocer el daño que producen estas categorías principalmente los daños referidos a la salud humana, el cambio climático y el uso de recursos; de tal manera que pueda definirse que categoría de daño está siendo más afectada con la producción de alcohol.

Según estas categorías de impacto se procede a comparar los procesos descritos anteriormente con cuatro métodos diferentes: CML, Eco-indicador, Edip, Impact 2002+, con el uso del software SimaPro 7.1; con el objetivo de seleccionar el método más apropiado de acuerdo a las categorías descritas como relevantes. En los Anexos No. 20, 21, 22, 23, 24 y 25 se muestran los gráficos (usando escala logarítmica) y las tablas correspondientes a la caracterización obtenida en el software utilizado con cada uno de los métodos.

Todos los métodos analizados muestran en común lo siguientes elementos:

- El cultivo de la caña de azúcar presenta mayor impacto en la eco-toxicidad debido a emisiones hídricas de ión Cadmio; en la toxicidad por emisiones atmosféricas de plomo y benceno principalmente; y la eutroficación por emisiones de fosfato y óxido de nitrógeno (NO).
- La producción de etanol tiene una mayor contribución a la acidificación, por las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxido de nitrógeno (NO); mayor uso de combustibles fósiles; respiración de sustancias inorgánicas por emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); y una mayor contribución al calentamiento global por emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Tiene el mayor impacto a la salud humana y al cambio climático según los métodos Eco-indicador e Impact 2002+.

No obstante las diferencias fundamentales encontradas se centran:

- El método CML no incluye uso de la tierra, uso de combustibles fósiles, respiración de sustancias inorgánicas; en general evalúa pocas categorías de impacto lo que impide un análisis más específico y genera incertidumbre; además no evalúa las categorías de daños, por ser un método de punto intermedio.
- El método Eco-indicador 99 incluye todos los aspectos necesarios a analizar pero tiene el inconveniente de que no analiza por separado la categoría cambio climático, la cual es de vital importancia en el estudio que se realiza; además las unidad de medida utilizada es el DALY para categorías como el cambio climático y la respiración de inorgánicos, y para el estudio que se está realizando se considera más conveniente la evaluación según la

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

cantidad de las sustancias emitidas relacionadas entre sí por equivalencias de una sustancia específica como kg de CO<sub>2</sub> para la categoría de cambio climático.

- El método Edip es un método amplio que analiza una gran cantidad de categorías de impacto, pero la mayoría de éstas están enfocadas a la toxicidad y eco-toxicidad; no incluye el uso de la tierra, el uso de combustibles fósiles, ni la respiración de sustancias inorgánicas y no evalúa los daños, por ser un método de punto intermedio.
- El método Impact 2002+ es capaz de vincular las categorías de impacto con daños en un amplio rango y con mayor especificidad el cual le da un amplio poder de análisis. Es el único que incluye por separada la categoría de daño cambio climático, situación muy esencial para la valoración que se pretende realizar.

Por todo lo antes expuesto se considera que el método más apropiado para realizar el estudio del ciclo de vida del alcohol es Impact 2002+, pues como se enunció aporta todos los datos necesarios e indispensables.

#### 3.3.1 – Selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de la categoría y modelos de estimación

En la tabla No. 3.3 están enumeradas las categorías de impacto, relacionadas con categorías de daño utilizadas en el análisis de ciclo de vida de la elaboración de alcohol, según el método utilizado (Impact 2002+). Además se identifica el ámbito de acción para cada categoría de impacto y daño definida.

**Tabla No. 3.3** – Categorías de impacto y de daño. **Fuente:** Elaboración propia.

| No. | Categoría de Impacto                  | Categoría de Daño      | Ámbito de Acción |
|-----|---------------------------------------|------------------------|------------------|
| 1   | Efectos Carcinogénicos                | Salud Humana           | Efecto Local     |
| 2   | Efectos No-Carcinogénicos             | Salud Humana           | Efecto Local     |
| 3   | Respiración de Sustancias Inorgánicas | Salud Humana           | Efecto Local     |
| 4   | Respiración de Sustancias Orgánicas   | Salud Humana           | Efecto Local     |
| 5   | Radiación Ionizante                   | Salud Humana           | Efecto Regional  |
| 6   | Energías No-Renovables                | Recursos               | Efecto Regional  |
| 7   | Extracción de Minerales               | Recursos               | Efecto Regional  |
| 8   | Eco-toxicidad Terrestre               | Calidad del Ecosistema | Efecto Regional  |

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

|    |                               |                        |                 |
|----|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| 9  | Acidificación Terrestre       | Calidad del Ecosistema | Efecto Regional |
| 10 | Uso del Suelo                 | Calidad del Ecosistema | Efecto Regional |
| 11 | Acidificación Acuática        | Calidad del Ecosistema | Efecto Regional |
| 12 | Eutroficación Acuática        | Calidad del Ecosistema | Efecto Regional |
| 13 | Eco-toxicidad Acuática        | Calidad del Ecosistema | Efecto Regional |
| 14 | Deterioro de la Capa de Ozono | Salud Humana           | Efecto Global   |
| 15 | Calentamiento Global          | Cambio Climático       | Efecto Global   |

Anteriormente fueron definidas las categorías de impacto más influyentes en el estudio que se realiza, no todas estas categorías requieren de análisis, sólo aquellas que sean necesarias de acuerdo a su impacto y el resultado obtenido con el uso del software utilizado.

En la Tabla No. 3.4 se puede identificar la relación existente entre las categorías de impacto y daño con los procesos estudiados que intervienen en la producción de etanol de caña de azúcar. Estos resultados están relacionados con la tabla de de comparación usando el método Impact 2002+ mostrada en el Anexo No. 23.

**Tabla No. 3.4** – Relación entre procesos y categorías de daño. **Fuente:** Elaboración Propia.

| <div> <div>CATEGORÍAS DE IMPACTO</div> <div>FASES</div> </div> | Efectos Carcinogénicos | Efectos No-Carcinogénicos | Respiración de Sustancias Inorgánicas | Radiación Ionizante | Deterioro de la Capa de Ozono | Respiración de Sustancias Orgánicas | Eco-toxicidad Acuática | Eco-toxicidad Terrestre | Acidificación Terrestre | Uso del Suelo | Acidificación Acuática | Eutroficación Acuática | Calentamiento Global | Energías No-Renovables | Extracción de Minerales |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
|                                                                |                        |                           |                                       |                     |                               |                                     |                        |                         |                         |               |                        |                        |                      |                        |                         |
| Cultivo caña de azúcar                                         |                        |                           |                                       |                     |                               |                                     |                        |                         |                         |               |                        |                        |                      |                        |                         |
| Elaboración de melaza                                          |                        |                           |                                       |                     |                               |                                     |                        |                         |                         |               |                        |                        |                      |                        |                         |
| Producción de etanol                                           |                        |                           |                                       |                     |                               |                                     |                        |                         |                         |               |                        |                        |                      |                        |                         |

### Leyenda

| Categoría de Daño      | Rango de Contribución (%)                                                         |                                                                                   |                                                                                   |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                        | 0 – 35                                                                            | 35 – 70                                                                           | 70 – 100                                                                          |
| Salud Humana           |  |  |  |
| Recursos               |  |  |  |
| Calidad del Ecosistema |  |  |  |
| Cambio Climático       |  |  |  |

Para realizar esta relación se estableció un rango de contribución expresado en % con una escala de colores desde el más claro al más intenso según el por ciento de contribución, identificando el más claro el de menor contribución y el más oscuro el de mayor contribución a la categoría de impacto; en la definición de dicho rango se calculan primeramente el por ciento de contribución de cada proceso para cada categoría de impacto estudiado, a partir de aquí como se comparan tres procesos se define que el menor valor para cada proceso oscila entre 0 – 35 %, definiéndose así mismo que la mayor contribución obtenida debe estar entre 70 – 100%.

Como resultado de este estudio se determina la relación existente entre las distintas fases con categorías de impacto y categorías de daño; de aquí se determina que la producción de 1t de etanol tiene una mayor contribución (mayor que 35%) a las categorías: respiración de sustancias inorgánicas, acidificación terrestre, acidificación acuática, y calentamiento global; y el cultivo de 119.61t de caña para la elaboración de 1t de etanol representa la mayor contribución (entre 41 – 43%) en el resto de las categorías evaluadas; siendo entonces estos dos procesos los de mayor incidencias en el impacto ambiental, se requiere de más aspectos para definir cuáles son los problemas existentes.

### 3.3.2 – Clasificación de los resultados del análisis del inventario

En el Anexo No. 26 se muestra la red correspondiente a la producción de alcohol de caña de azúcar; donde se puede observar que la materia prima que tiene una mayor contribución en la producción de 1t de etanol es el Petróleo Crudo Cubano con un 43%. Para identificar con mayor precisión cuál o cuáles de las materias primas utilizadas tienen un mayor impacto ambiental se comparan usando el método Impcat 2002+ con factores ponderados, mostrado en la Figura No. 3.1, las materias primas usadas para la producción de 1t de etanol se agrupan de la siguiente forma, según su impacto:

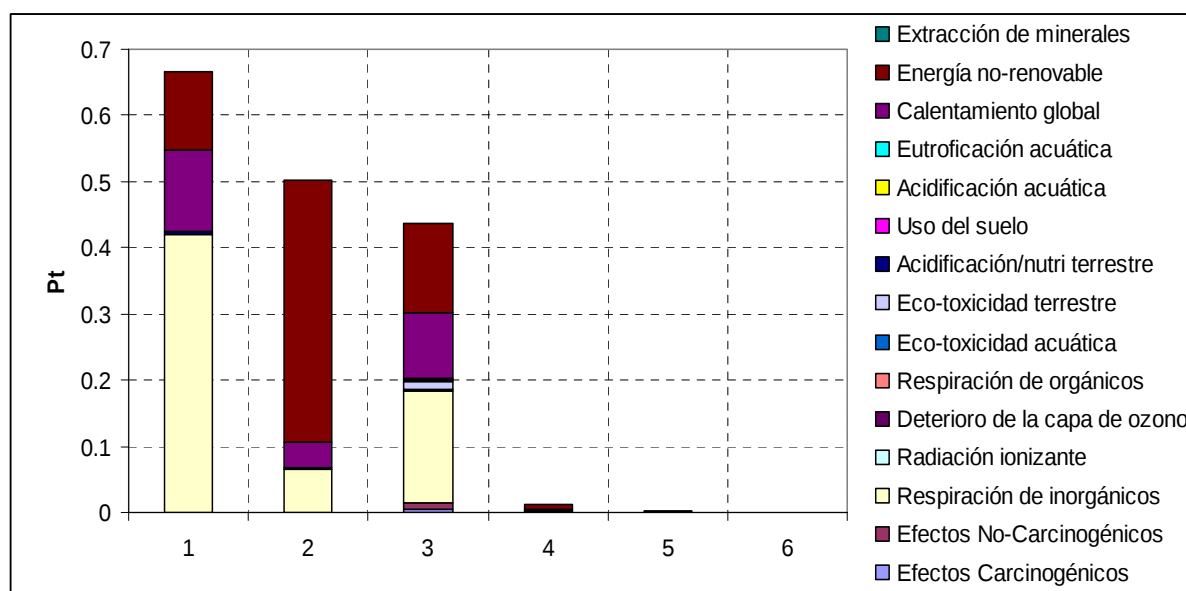
- 1 - Petróleo Crudo Cubano
- 2 - Diesel
- 3 - Fertilizantes Minerales

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

4 - Herbicidas

5 - Nutrientes para la fermentación

6 - Otros (el resto de las materias primas)



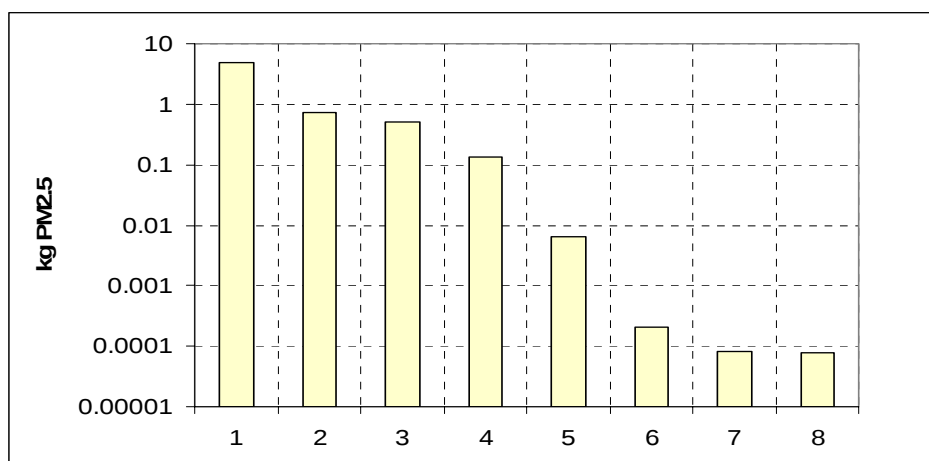
**Figura No. 3.1** – Comparación de las sustancias con mayor contribución ambiental.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Según este análisis se determina que las materias primas de mayor impacto son el uso de crudo cubano, el diesel y los fertilizantes. Siendo de estos el crudo el más significativo, pues como se muestra en el gráfico presenta un mayor impacto a las categorías: respiración de sustancias inorgánicas y calentamiento global.

Esto se debe al uso diario que tiene el crudo (26.82t) y principalmente a las emisiones que tiene la combustión de crudo para la producción diaria de alcohol, en el generador de vapor, estas son:

- 3.75t de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que se analiza dentro de la categoría de respiración de sustancias inorgánicas teniendo un efecto local; además es una sustancia que causa acidificación terrestre y acuática ambas categorías con un efecto regional. (ver Figura No. 3.2)



**Figura No. 3.2** – Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de respiración de sustancias inorgánicas (uso de escala logarítmica) para 1t de alcohol.

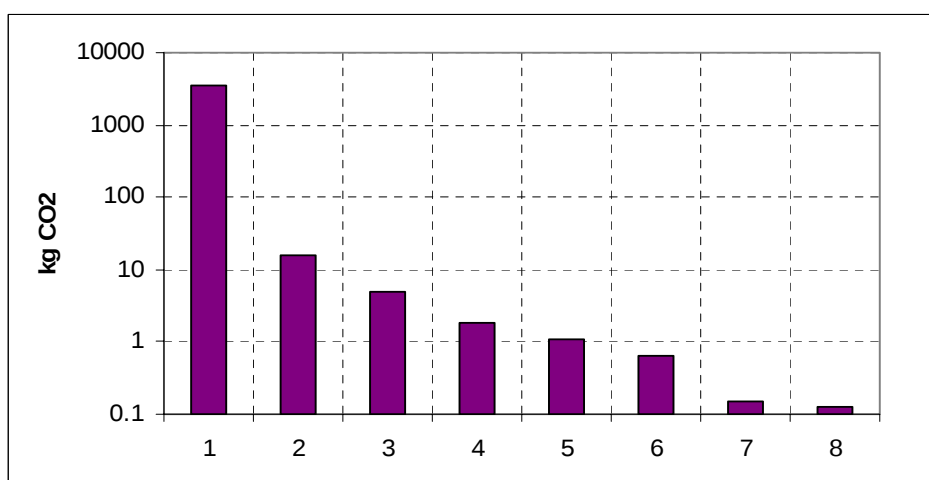
**Fuente:** Elaboración Propia.

Leyenda:

- |                                            |                                         |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 - Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )   | 5 - Amoníaco (NH <sub>3</sub> )         |
| 2 - Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) | 6 - Partículas, < 10 µm (estacionarias) |
| 3 - Partículas, < 2.5 µm                   | 7 - Monóxido de Carbono (CO)            |
| 4 - Óxidos de Azufre (SO <sub>x</sub> )    | 8 - Partículas, < 10 µm (móviles)       |

Con el gráfico anterior se demuestra que las emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) son las de mayor impacto en la categoría de respiración de sustancias inorgánicas.

- 84.48t de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sustancia causante del calentamiento global (ver Figura No. 3.3).



### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

**Figura No. 3.3** – Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de impacto calentamiento global (uso de escala logarítmica) para 1t de alcohol. **Fuente:** Elaboración Propia.

Leyenda:

- |                                                |                                   |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 - Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )      | 5 - Hexafluoruro de Azufre        |
| 2 - Monóxido de dinitrógeno (NO <sub>2</sub> ) | 6 - Metano, tetrafluoruro-, FC-14 |
| 3 - Metano, fósil (CH <sub>4</sub> )           | 7 - Etano, hexafluoruro-, HFC-116 |
| 4 - Monóxido de Carbono (CO)                   | 8 - Etano, 1,1,1,2-tetrafluoruro  |

En el gráfico se visualiza claramente la importancia de reducir las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), por la gran contribución que tiene y los efectos que esto puede traer.

#### 3.3.3 – Cálculo de los indicadores de categoría

Después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema y determinadas las categorías de impacto, es necesario realizar la cuantificación de las referidas categorías. La caracterización se realiza con el uso del software SimaPro 7.1 y los resultados se explican a continuación.

En el Anexo No. 23, se muestra la cuantificación (caracterización) de cada categoría de impacto a partir de una sustancia de referencia, lo que permite agrupar cada sustancia en una única categoría.

En la Tabla No. 3.5 se aportan los datos de normalización para cada proceso en cada categoría de impacto, obtenidos del procesamiento de las entradas y salidas de cada fase del proceso estudiado agregadas a la base de dato del software SimaPro 7.1.

**Tabla No. 3.5** – Valores correspondientes a la Normalización de las categorías de impacto.

**Fuente:** Elaboración Propia.

| Categoría de impacto          | Caña de Azúcar | Melaza     | Etanol de Caña |
|-------------------------------|----------------|------------|----------------|
| Efecto Carcinogénico          | 0.00664933     | 0.00455956 | 0.004711297    |
| Efecto No-carcinogénico       | 0.01175142     | 0.00805995 | 0.008181622    |
| Respiración de Inorgánicos    | 0.2777106      | 0.190483   | 0.61671364     |
| Radiación Ionizante           | 0.00112633     | 0.00077292 | 0.000791672    |
| Deterioro de la Capa de Ozono | 3.11E-05       | 2.14E-05   | 2.24E-05       |
| Respiración de Orgánicos      | 0.00016134     | 0.00011086 | 0.000113777    |
| Eco-toxicidad Acuática        | 0.00106655     | 0.00073457 | 0.000750763    |
| Eco-toxicidad Terrestre       | 0.01641652     | 0.01126238 | 0.011510716    |
| Acidificación Terrestre       | 0.00448428     | 0.00307604 | 0.007310939    |

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

|                         |            |            |             |
|-------------------------|------------|------------|-------------|
| Uso del Suelo           | 0.00207562 | 0.0014255  | 0.001447374 |
| Acidificación Acuática  | -          | -          | -           |
| Eutroficación Acuática  | -          | -          | -           |
| Calentamiento Global    | 0.1975997  | 0.13557238 | 0.35285733  |
| Energías No-renovables  | 0.6265089  | 0.42961679 | 0.55270544  |
| Extracción de Minerales | 0.0002649  | 0.00018167 | 0.000186389 |

Con la caracterización y la normalización es posible entonces ponderar, paso opcional del análisis de ciclo de vida, que se desarrolla en este caso para tener una mayor visión de los impactos que más inciden. En la Tabla No. 3.6 se identifica que las categorías con mayor incidencia son: respiración de sustancias inorgánicas, calentamiento global y el uso de energías no-renovables.

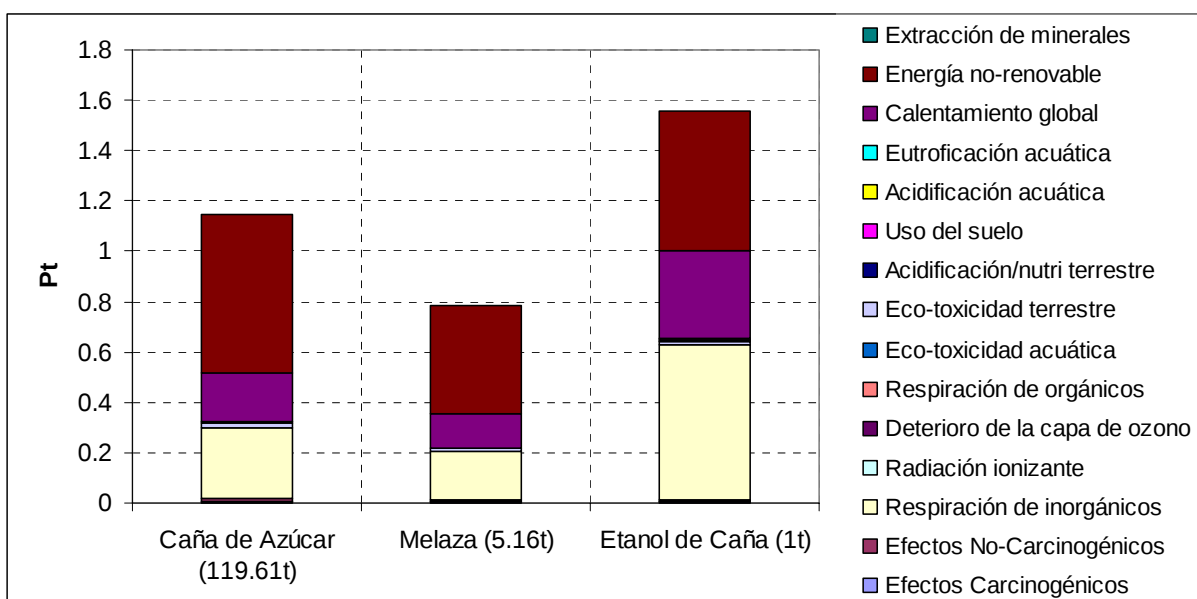
**Tabla No. 3.6** – Valores correspondientes a la Ponderación de las categorías de impacto.

**Fuente:** Elaboración Propia.

| Categoría de impacto          | Unidad    | Caña de Azúcar   | Melaza            | Etanol de Caña   |
|-------------------------------|-----------|------------------|-------------------|------------------|
| Efecto Carcinogénico          | Pt        | 0.00664933       | 0.00455956        | 0.004711297      |
| Efecto No-carcinogénico       | Pt        | 0.01175142       | 0.00805995        | 0.008181622      |
| Respiración de Inorgánicos    | Pt        | 0.2777106        | 0.190483          | 0.61671364       |
| Radiación Ionizante           | Pt        | 0.00112633       | 0.00077292        | 0.000791672      |
| Deterioro de la Capa de Ozono | Pt        | 3.11E-05         | 2.14E-05          | 2.24E-05         |
| Respiración de Orgánicos      | Pt        | 0.00016134       | 0.00011086        | 0.000113777      |
| Eco-toxicidad Acuática        | Pt        | 0.00106655       | 0.00073457        | 0.000750763      |
| Eco-toxicidad Terrestre       | Pt        | 0.01641652       | 0.01126238        | 0.011510716      |
| Acidificación Terrestre       | Pt        | 0.00448428       | 0.00307604        | 0.007310939      |
| Uso del Suelo                 | Pt        | 0.00207562       | 0.0014255         | 0.001447374      |
| Acidificación Acuática        | Pt        | -                | -                 | -                |
| Eutroficación Acuática        | Pt        | -                | -                 | -                |
| Calentamiento Global          | Pt        | 0.1975997        | 0.13557238        | 0.35285733       |
| Energías No-renovables        | Pt        | 0.6265089        | 0.42961679        | 0.55270544       |
| Extracción de Minerales       | Pt        | 0.0002649        | 0.00018167        | 0.000186389      |
| <b>Total</b>                  | <b>Pt</b> | <b>1.1458466</b> | <b>0.78587703</b> | <b>1.5573034</b> |

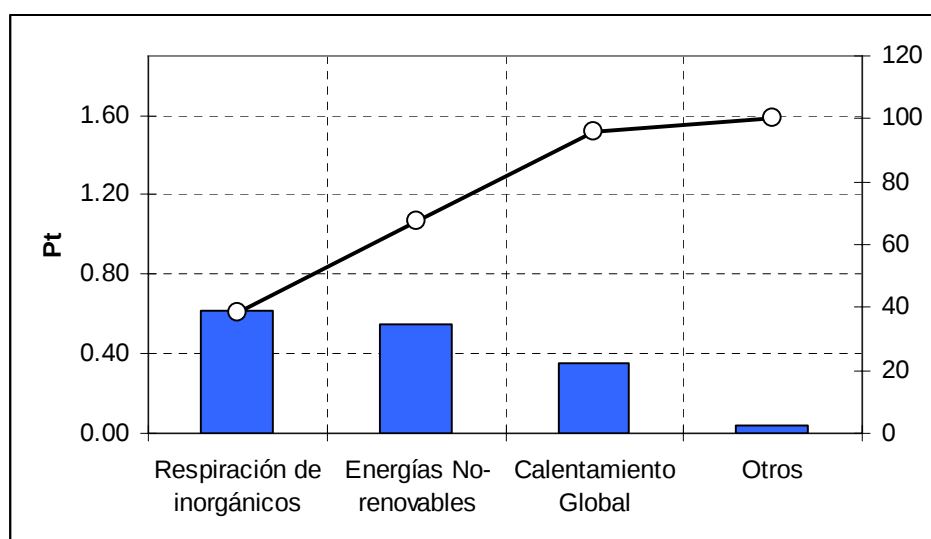
En un gráfico comparativo de las tres fases del ciclo de vida del etanol con los factores ponderados (ver Figura No. 3.4) que se muestran en la tabla anterior se puede apreciar que para la producción de 1t de etanol tiene un mayor impacto la fase de la producción de etanol con una mayor incidencia al calentamiento global y a la respiración de inorgánicos.

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”



**Figura No. 3.4** – Representación gráfica de la comparación entre las distintas fases del ciclo de vida del etanol (uso de escala logarítmica). **Fuente:** Elaboración Propia.

A partir de un diagrama de Pareto (ver Figura No. 3.5) es posible comprobar que las categorías de impacto causantes del impacto ambiental que genera la producción de 1t de etanol de caña de azúcar son la respiración de sustancias inorgánicas, el uso de energías no-renovables, y el calentamiento global, siendo necesario buscar y comprobar cuáles son las medidas a tomar para mitigar el problema detectado en cuanto a las emisiones de dióxido de azufre y dióxido de carbono.

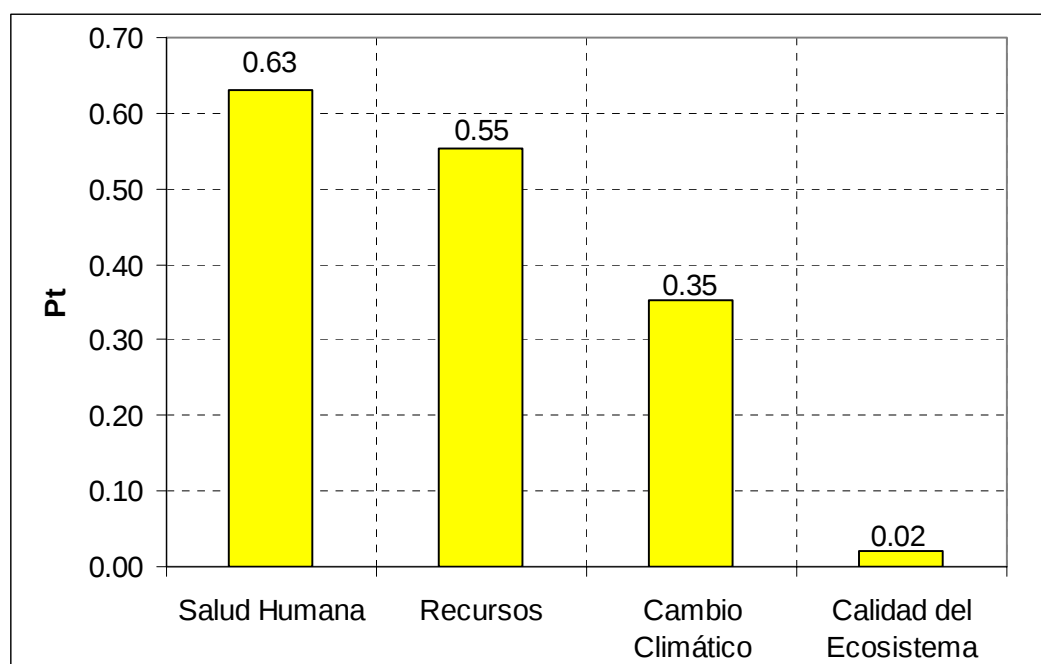


**Figura No. 3.5** – Diagrama de Pareto con la ponderación obtenida de cada categoría de impacto.

**Fuente:** Elaboración Propia.

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

En la Figura No. 3.6 se puede observar también que las emisiones afectan principalmente a la categoría de daño: salud humana, calidad del ecosistema y cambio climático, viéndose afectada la población de Cavadonga. Según Castelló Ruiz, Pablo (2004) las emisiones de SO<sub>2</sub> provocan problemas respiratorios en la población. Además las emisiones de CO<sub>2</sub> son la principal causa del calentamiento global y los cambios climáticos que actualmente están afectando a la humanidad.



**Figura No. 3.6** – Ponderación por categorías de daño con el método Impact 2002+.

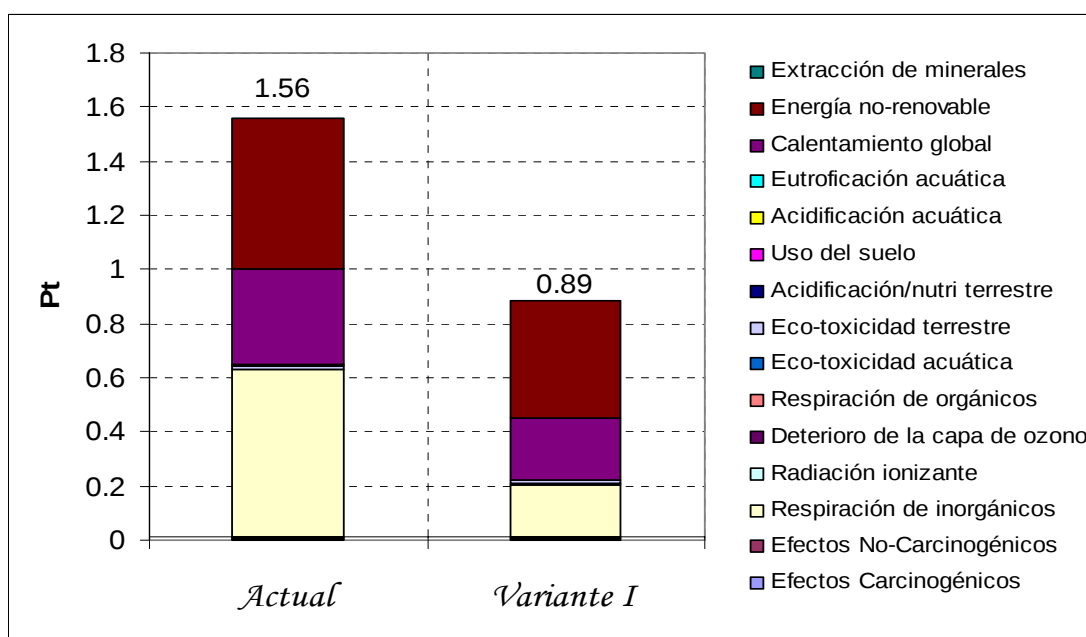
**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 3.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras

Según los resultados obtenidos las mejoras deben estar encaminadas a la disminución de emisiones de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, causadas principalmente por el uso de crudo cubano y por las emisiones de CO<sub>2</sub> en la etapa de fermentación.

##### Variante I

Se recomienda sustituir el uso de crudo por el vapor sobrante del CAI “Antonio Sánchez” de la combustión de bagazo, una fuente renovable de energía de origen orgánico. En la Figura No. 3.7 se demuestra que se reduce el impacto ambiental al usar vapor generado del bagazo, con el uso de vapor de crudo el impacto total de la producción de etanol es de 1.56Pt con la medida recomendada disminuye a 0.89 Pt lo que significa una reducción en un 42.95%.



**Figura No. 3.7** – Comparación entre la producción de etanol con las condiciones actuales y con la variante I recomendada (uso de escala logarítmica). **Fuente:** Elaboración Propia.

El impacto de la respiración de inorgánicos (por emisiones de  $\text{SO}_2$ ) disminuye de 0.62Pt a 0.19Pt, equivale a una reducción en un 65.35%, el calentamiento global (por emisiones de  $\text{CO}_2$ ) disminuye de 0.35Pt a 0.23Pt, equivale a una reducción en 34.29%. (Ver Anexo No. 27). Se concluye que con esta medida disminuye considerablemente el impacto ambiental al disminuir el uso de energía no-renovables de 0.55Pt a 0.43Pt, equivale a una reducción en 21.82%. Interpretado esto en unidades de masa se dejan de emitir a la atmósfera 8448.3t de  $\text{CO}_2$  y 375.48t de  $\text{SO}_2$  al año.

A continuación se dan los elementos necesarios para demostrar la **factibilidad técnica** y **económica** de la solución planteada.

Para esta propuesta se tiene en cuenta que en el central existe una capacidad de generación de vapor 154.13 t y de ellas el central consume 133.91 t, por lo tanto se puede contar con un excedente de 20.22 t de vapor por hora.

Por otra parte, en ALFICSA existe una caldera de 20 t de vapor para el proceso tecnológico y el vapor directo se conduce hasta el turbogenerador de 750 kW de cuya generación eléctrica solo se consumen 400 kWh. En este turbogenerador se necesita una presión de vapor de 142 lb/pul<sup>2</sup>, o sea 10 kg/cm<sup>2</sup>.

Analizadas estas condiciones técnicas, se propone el montaje de una tubería conductora de 10 pulgadas de diámetro por 1500 metros de largo, para llevar el vapor directo producido en las

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

calderas del central hasta el turbogenerador de ALFICSA, con el objetivo de prescindir del consumo de crudo y fuel oil, al menos durante el período de zafra.

Para esta propuesta también se tiene en cuenta la disponibilidad de combustible (bagazo), la que queda demostrada con las reiteradas interrupciones operativas, ocurridas en las últimas zafas, como consecuencia de estar llena la casa de bagazo. Estas horas de parada traen consigo pérdidas económicas para la industria, a las que se le suman como gasto adicional todo el consumo de combustible diesel para la extracción y transportación del bagazo fuera del central.

Para la evaluación económica de la propuesta se dispone de los siguientes datos:

- El costo de la tonelada de vapor producida con bagazo en el central Antonio Sánchez, según su ficha de costo es de 2.67 CUC.
- Para el presente año 2009 el plan técnico-económico en ALFICSA, contempla los valores siguientes:

Índice de consumo de crudo = 8.5 gl/hlap

Precio del galón de crudo = 0.82 CUC/gl

En ALFICSA se consumen 16t de vapor/horas que equivalen a 384t de vapor/día, para una producción diaria de 900 hlap o 70t.

Datos generales para la evaluación del proyecto:

|                                                            |                  |
|------------------------------------------------------------|------------------|
| Días de zafra                                              | 100 Días         |
| % de entrega real de vapor                                 | 80 %             |
| Consumo de vapor en ALFICSA                                | 20 t /h          |
| Vapor entregado por Antonio Sánchez a ALFICSA              | 38400 t vapor    |
| Costo de la T vapor en el CAI “A. Sánchez”                 | 2.67 CUC/t vapor |
| Costo del vapor producido en CAI “A. Sánchez” para ALFICSA | 102528.00 CUC    |
| Gastos de mantenimiento                                    | 280.00 CUC       |
| Gastos anuales (G)                                         | 123313.60 CUC    |
| Costo de la Inversión (Ko)                                 | 115000.00 CUC    |

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

#### Período Simple de Recuperación (PSI)

$$PSI = \frac{\text{Costo de Inversión}}{\text{Ahorros Anuales Netos}}$$

$$PSI = \frac{115000.00CUC}{503257.63CUC}$$

$$PSI = 0.23 \text{ años}$$

Por el resultado del Período Simple de Recuperación la inversión resulta tentadora, pero se debe conocer el comportamiento del dinero en el tiempo para determinar las verdaderas ganancias del proyecto, por lo que se necesitan aplicar otras técnicas que demuestren la factibilidad de la propuesta. Así entonces se determina el Valor Actual Neto (VAN) para los flujos de caja proyectados para todos los años de evaluación del proyecto y se determina la Tasa Interna de Retorno (TIR) y se calcula el Período de Recuperación de la Inversión (PRI).

Para la realización de estos cálculos se cuenta con la siguiente información:

|                                                             |                   |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|
| Índice de consumo de crudo                                  | 8.5 gl/hlap       |
| Precio del crudo                                            | 0.82 CUC/gl       |
| Precio del agua osmotizada                                  | 0.33 CUC/m3       |
| Producción ALFICSA                                          | 900 hlap/día      |
| Costo del crudo consumido por la caldera                    | 6579.00 CUC/día   |
| Costo del agua consumida por la caldera                     | 158.40 CUC/día    |
| Costo de la energía eléctrica consumida por la caldera      | 825.11 CUC/día    |
| Consumo electricidad Caldera                                | 1248 kWh./día     |
| % de energía de entrada que representa la energía eléctrica | 3.18 %            |
| VCI combustible                                             | 10.699 kWh./Kg    |
| Costo de salario                                            | 6.25 CUC/día      |
| Costo de mantenimiento                                      | 3.56 CUC/día      |
| Costo del vapor producido en ALFICSA                        | 7572.32 CUC/día   |
| Costo de la t vapor en ALFICSA                              | 15.78 CUC/t vapor |
| Diferencia del costo de t vapor                             | 13.11 CUC/t vapor |
| Ahorro anual por diferencia de costo (Ingresos ALFICSA)     | 503257.63 CUC     |

Resultados obtenidos:

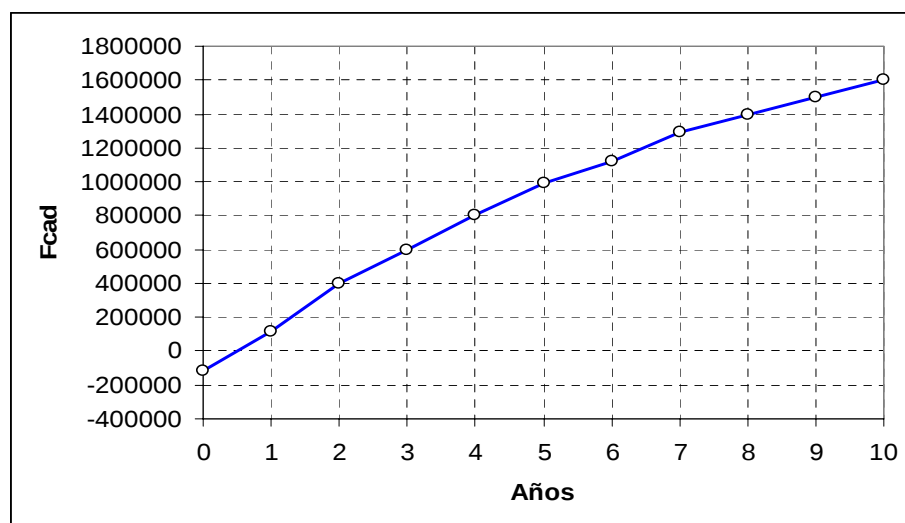
$$VAN(\text{Valor Actual Neto}) = 1606125.93 \text{ CUC}$$

$$PRI(\text{Período de Recuperación de la Inversión}) = 0.5 \text{ años}$$

$$TIR(\text{Tasa Interna de Retorno}) = 26.2\%$$

En la Figura No. 3.8 se puede observar gráficamente en qué tiempo se recupera la inversión y a

cuanto asciende el valor actual neto al cabo de 10 años.



**Figura No. 3.8** – Gráfico representativo del PRI y el VAN. **Fuente:** Elaboración Propia.

Estos resultados calculados en la evaluación económica del proyecto de mejora, validan la factibilidad de la propuesta presentada por el autor de este estudio.

La ejecución de este trabajo pudiera representar un negocio GANAR – GANAR. Gana ALFICSA que disminuiría sus costos de producción; gana la empresa azucarera “Antonio Sánchez” que recibiría ingresos en CUC; gana el medio ambiente al dejar de recibir volúmenes de emanaciones de gases que disminuirían los costos ambientales externos. La materialización de este trabajo sería un ejemplo de la utilización de la biomasa cañera como combustible y una confirmación de la política del Estado en el cuidado del medio ambiente.

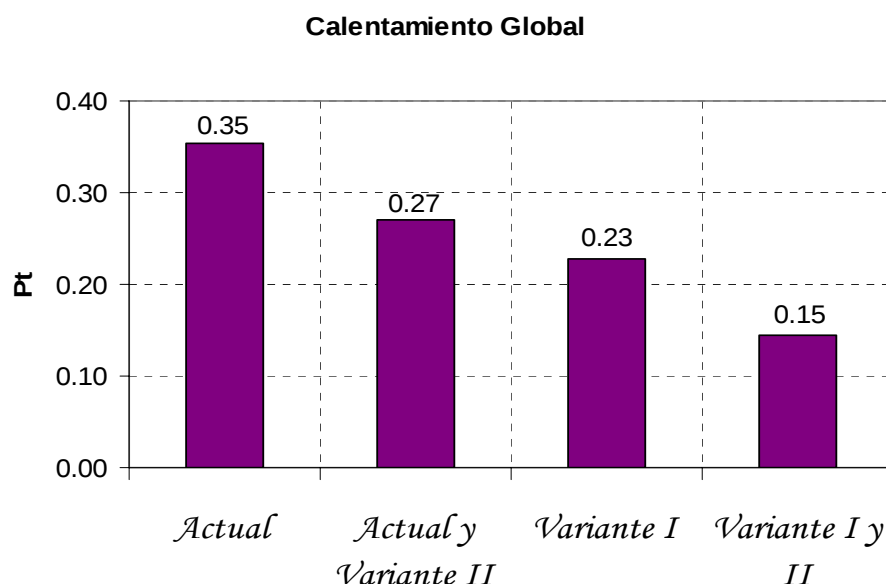
#### *Variante II*

Con la aplicación de la medida anterior se reduce considerablemente el impacto ambiental pero se siguen emitiendo 60t de CO<sub>2</sub> al día en los fermentadores del proceso de producción de etanol equivale a la emisión de 21 900 t de CO<sub>2</sub> en un año, lo que afecta la capa de ozono y provoca el calentamiento global que genera grandes cambios climáticos, viéndose afectada no sólo la población de la región de Covadonga sino también la humanidad por ser este un efecto de acción global.

Para mitigar dicho impacto se propone la instalación de dos plantas recuperadoras de CO<sub>2</sub> con una capacidad cada una de 14 127 m<sup>3</sup>/día que equivale a 27.95t/día. Con la instalación de estas plantas se reduce el efecto del calentamiento global de 0.23Pt a 0.15Pt, equivale a una reducción en 34.78% en el período de zafra en el que se está utilizando el vapor de la

### Capítulo III: “Análisis de los resultados”

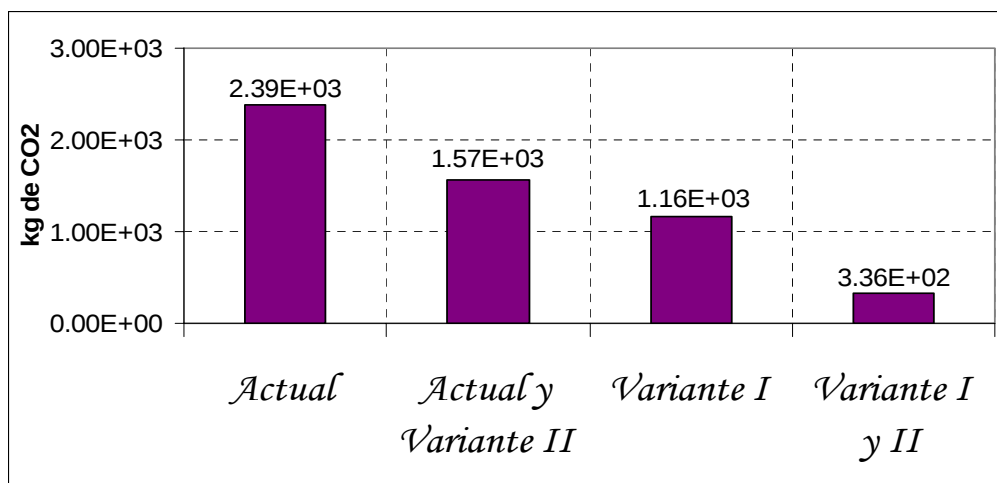
combustión de bagazo; y disminuye de 0.35Pt a 0.27Pt, equivale a una reducción en 22.86% con el uso de vapor de la combustión de crudo cubano, todo esto para la producción de 1t de etanol (ver Figura No.3.9).



**Figura No. 3.9** – Representación gráfica de la disminución del efecto sobre el calentamiento global de la Variante II (usando el valor ponderado).

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la Figura No. 3.10 se muestra en kg de CO<sub>2</sub> la disminución de las emisiones a la atmósfera con la Variante I y II comparada con la producción Actual y con la Variante I, la disminución con respecto a la Actual es en un 34.31% y con respecto a la Variante I en un 71.03%, por lo que se comprueba la factibilidad ambiental de la propuesta planteada.



### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

**Figura No. 3.10** – Representación gráfica de la disminución del efecto sobre el calentamiento global de la Variante II. **Fuente:** Elaboración Propia.

A continuación se dan los elementos necesarios para demostrar la **factibilidad técnica y económica** de la solución planteada.

En zonas aledañas a la Empresa ALFICSA existe una planta recuperadora de CO<sub>2</sub> perteneciente al CAI “Antonio Sánchez” pero ésta sólo tiene capacidad para 8t diarias, por lo que se le propone al CAI, según la emisión diaria de los fermentadores (60t), la compra e instalación de dos Plantas de CO<sub>2</sub> con las siguientes características:

- El producto final con una pureza de 99,95 % (v/v)
- El consumo de energía eléctrica de 352 kw
- El consumo de agua de 149,1 m<sup>3</sup>/día
- Residuales líquidos 84,5 m<sup>3</sup>/día
- Se deja de emanar a la atmósfera 14 127 m<sup>3</sup>/día de CO<sub>2</sub>

El CO<sub>2</sub> será vendido por ALFICSA a un precio de 5,5 CUC/t que cumpla con la norma de proceso para esta tecnología. Este precio es similar a la media internacional, la cual está alrededor de 5,0 CUC/t.

Para la propuesta se estima una inversión 257 600 CUC por cada planta.

Para la venta del CO<sub>2</sub> se conoce que:

Los posibles compradores según el estudio de mercado se han considerado en tres grupos:

- Gases industriales, el mayor comprador (80 % de la producción)
- Empresas de bebidas del MINAL y el MINAZ (15 % de la producción).
- Turismo y Empresas mixtas (5 % restante).

Los precio se proyectan variables en función de los compradores, asegurando un % de recuperación de la MLC y un precio en MN total de 180 a 162.00 pesos /t de CO<sub>2</sub>. La propuesta de 130,00 CUC/t ha sido aceptada por la Empresa Gases Industriales, a estos, por ser los máximos compradores se les hace una rebaja del 10 %. Para los servicios a recibir se han utilizado los mismos precios actuales que el CAI está pagando para ellos.

La tasa de impuesto sobre las utilidades son del 35 %, la reserva para contingencias es del 5 % del Total de las utilidades brutas hasta acumular el 15 % de la inversión.

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

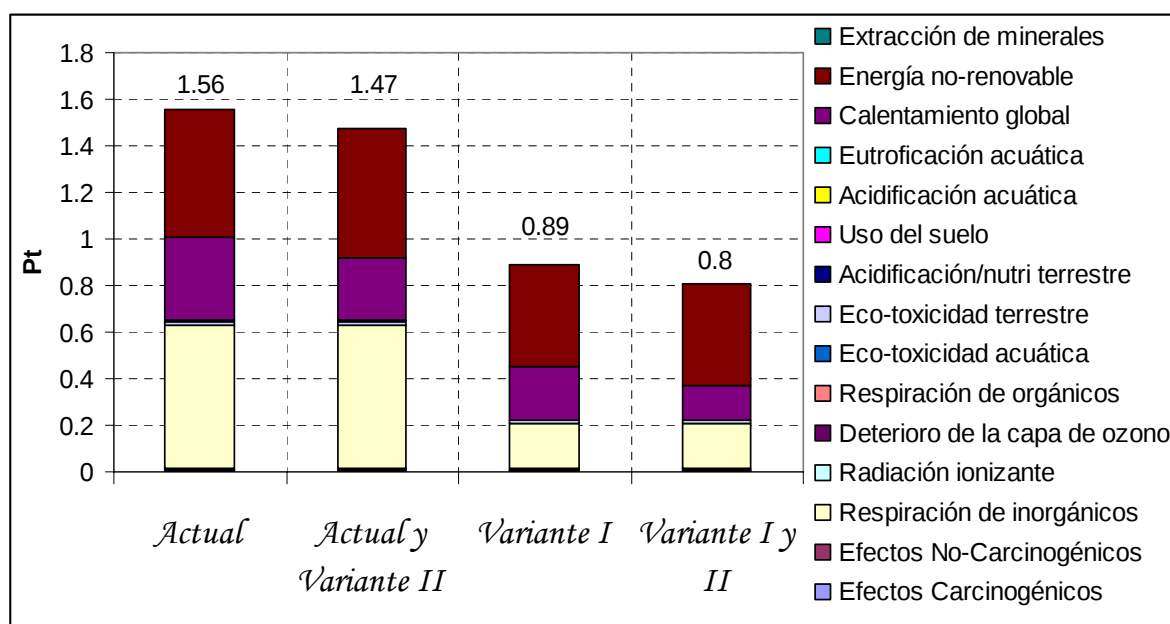
Se pudo comprobar que el proyecto tiene un Valor Actual Neto positivo (3 094,54 CUC), una Tasa Interna de Rendimiento mayor que la tasa de descuento ( $1.66 > 0.16$ ) y un Período de Recuperación Descontado de 4 años, por lo que es factible la ejecución de la propuesta. En este caso se ha supuesto que el proyecto no pague impuestos, sus ingresos y costos son entradas de efectivo que no están afectadas por la inflación y el mismo se financia con medios propios.

La inversión para instalar la planta recuperadora de CO<sub>2</sub>, presenta reconocidas ventajas entre las que se pueden mencionar:

- Garantía de producción continua durante 300 días al año al estar vinculada directamente a la Empresa Mixta ALFICSA.
- Garantía de mercado para la producción de CO<sub>2</sub>. Los potenciales consumidores adquieren el producto en instalaciones ubicadas en otras provincias, por lo que constituye una ventaja para el consumidor adquirir el producto prácticamente dentro de la localidad.
- Para ALFICSA no se requiere invertir recursos para la recuperación del CO<sub>2</sub> puesto que los fermentadores son cerrados y además tendrá ingresos superiores a los 90 000 CUC anuales, disminuirá la contaminación ambiental y los costos que esto trae.

En el Anexo No. 28 está representado el ciclo de vida del alcohol con las Variantes I y II propuestas, con las cuáles se logra un ciclo cerrado de producción siendo utilizadas y procesadas sus salidas para disminuir el impacto ambiental.

En la Figura No. 3.11 se muestra una comparación de las dos variantes planteadas con respecto a la producción actual de 1t de etanol, comprobándose que la disminución del impacto ambiental es considerable, disminuyéndose con estas el calentamiento global, la respiración de sustancias inorgánicas y el uso de energías no-renovables. Utilizando la Planta de CO<sub>2</sub> con las condiciones actuales se dejan de emitir en un año alrededor de 20 000t de CO<sub>2</sub> y con la combinación de la Variante I y la Variante II se reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en más de 28 000t al año; por concepto de emisiones SO<sub>2</sub> con la combinación de la Variante I y II se dejan de emitir a la atmósfera 375.48t aproximadamente.



**Figura No. 3.11** – Comparación de las variantes propuestas con respecto a la producción actual de 1t de etanol. **Fuente:** Elaboración Propia.

En los Anexos No. 29 y 30 está representada la red de la producción de etanol con la aplicación de las variantes ambientales propuestas y la red del cultivo de la caña, se muestra la diferencia existente con la red de la producción actual pues con estas variantes el impacto depende principalmente del cultivo de la caña, sobre el que se deben realizar futuras investigaciones seguir disminuyendo el impacto ambiental del ciclo de vida del etanol de caña y así lograr la eco-eficiencia y sostenibilidad de dicha producción.

#### Otras medidas para posibles problemas ambientales

En el Anexo No. 31 se ofrecen medidas de mejora a posibles problemas ambientales que se pueden presentar según las propiedades y composición que presentan las distintas materias primas utilizadas en cada una de las fases del ciclo de vida del etanol. Estas deben ser estudiadas con mayor profundidad como se hizo con las variantes propuestas en este estudio.

#### **Conclusiones Parciales del Capítulo III**

1. Son definidos los objetivos enfocados hacia evaluar y cuantificar los impactos ambientales del ciclo de vida del etanol, y valorar variantes ambientales que minimicen estos impactos; y el alcance se determina según el uso final del producto, los límites geográficos temporales, las etapas que son excluidas por no contar con información suficiente, y la calidad de los datos.
2. Una descripción cualitativa y cuantitativamente de cada una de las fases del ciclo de vida del etanol: cultivo de la caña, producción de melaza y elaboración de alcohol de caña, permite que sean representados los diagramas de cada proceso definiendo en estos los límites del sistema; y por último conformar el inventario para la producción de 1t de etanol.
3. Se comparan cuatro métodos de evaluación de impacto de punto final y punto intermedio concluyendo que el método Impact 2002+ es el más apropiado por vincularlas categorías de impacto y daño en un amplio rango, incluye las categorías de indispensable investigación y es el único que analiza por separado la categoría de daño cambio climático por separado.
4. Se evalúa el impacto provocado concluyendo que la materia prima que presenta una mayor contribución es el petróleo crudo cubano, por su combustión para la obtención de vapor necesario en el proceso productivo; y las categorías de impacto más afectadas son la respiración de inorgánicos (por emisiones de  $\text{SO}_2$ ), el calentamiento global (por emisiones de  $\text{CO}_2$ ) y el uso de energías no renovables.
5. Como primera variante ambiental se propone la sustitución de vapor de crudo por vapor de bagazo sobrante del CAI “Antonio Sánchez”, en los días de zafra, comprobándose que existe una disminución en un 65.35% de la respiración de inorgánicos y una reducción en un 34.29% del calentamiento global, dejándose de emitir al año 8448.3t de  $\text{CO}_2$  y 375.48t de  $\text{SO}_2$ .
6. Se comprueba que la sustitución de vapor de bagazo por vapor de crudo presenta factibilidad técnica y económica, al determinarse los equipos necesarios y los costos en los que se incurre, demostrándose que la inversión es factible al tener un período de recuperación de 0.5 años y un valor actual neto positivo de 1 606 125.93CUC.
7. Como segunda variante ambiental se propone la instalación de dos plantas recuperadoras de  $\text{CO}_2$  con capacidad cada una de 27.95t/día. Se comprueba que existe una disminución del calentamiento global en un 22.86% con respecto a la producción

### *Capítulo III: “Análisis de los resultados”*

---

actual, y si se combina esta variante con la variante I existe una reducción en un 34.78%. Se determina que de ser aplicadas estas dos variantes ambientales se dejan de emitir a la atmósfera más de 20 000t al año.

8. La propuesta ambiental referida a la instalación de dos plantas recuperadoras de CO<sub>2</sub> es factible económica y técnicamente, pues le reportará ingresos a la destilería ALFICSA y no tiene que invertir en equipos producto que los fermentadores son cerrados; además le reportará ganancias al CAI “Antonio Sánchez”, al tener varios compradores del producto. La inversión tiene un período de recuperación de 4 años y un valor actual neto positivo de 3 094.54CUC.

## **CONCLUSIONES**

### **Conclusiones Generales**

1. Se demuestra conceptual y teóricamente que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental capaz de valorar la sustentabilidad de la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar y sus posibles análisis de mejoras.
2. Se define prácticamente a partir de la metodología propuesta en las normas ISO 14 040 y usando el software SimaPro 7.1 una metodología capaz de valorar el ciclo de vida del etanol producido en ALFICSA y su propuesta de mejora.
3. Se determinan el objetivo y alcance del estudio así como su análisis de inventario de los procesos de cultivo de la caña, producción de melaza y elaboración de alcohol, y se construyen los diagramas de proceso pertinente.
4. Una comparación de cuatro métodos de evaluación de impacto con el uso del software SimaPro 7.1 demostró que el método Impact 2002+ es el más apropiado debido a que es el único que evalúa por separado la categoría de daño cambio climático y analiza más categorías de impacto.
5. Un análisis del ciclo de vida de la producción de alcohol en ALFICSA con el uso del software SimaPro 7.1 mostró que las categorías de impacto más afectadas son: la respiración de sustancias inorgánicas, el calentamiento global y el uso de energías no-renovables, lo que implica que las categorías de daño más afectadas sean la salud humana y el cambio climático, de las tres fases la más contaminante es la producción de etanol debido al uso del petróleo crudo cubano como portador energético en el generador de vapor y la emisión de gases de efecto invernadero en la combustión y fermentación.
6. Como primera variante de mejora ambiental se propone la sustitución del petróleo crudo cubano por vapor proveniente del CAI “Antonio Sánchez” producido con bagazo lo cual disminuiría notablemente el impacto ambiental en un 42.95%. Se demuestra la factibilidad técnica y económica de esta propuesta, dejándose de emitir al año 8448.3t de CO<sub>2</sub> y 375.48t de SO<sub>2</sub>.
7. Como una segunda variante se centra en la posibilidad de anexar al complejo dos plantas de recuperación de CO<sub>2</sub> lo cual disminuiría el impacto ambiental en un 48.72%, se dejan de emitir a la atmósfera más de 20 000t al año; se dan los elementos suficientes para justificar técnica y económicamente la solución.

## **RECOMENDACIONES**

---

### **Recomendaciones**

1. Discutir el trabajo con la Dirección de ALFICSA, el MINAZ, el Ministerio de Planificación y Economía, y el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medioambiente a fin de que se lleven a cabo para efectuar la sustitución de vapor de crudo cubano por vapor proveniente de la combustión de bagazo en el CAI “Antonio Sánchez” y el montaje de la planta de recuperación de CO<sub>2</sub>.
2. Continuar la valoración técnica y económica de otras soluciones de mejora propuestas que aunque con menos efectos ambientales ayudarán a lograr un desarrollo sostenible de estas producciones.
3. Seguir profundizando en la aplicación del ciclo de vida del alcohol y otras producciones bajo las características del país fundamentalmente sus procesos de ponderación, normalización y determinación de incertidumbre.
4. Aplicar esta metodología en el resto de las destilerías existentes en el país e incorporarlas como ejemplo de caso en los proyectos de valoración integral de biocombustibles que tiene la Universidad de Cienfuegos, el Ministerio de Medio Ambiente de Guatemala, la red iberoamericana de biocombustibles y los proyectos Cuba-Brasil al respecto.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### Referencias Bibliográficas

- Aranda, A. (2006). *"Ecodiseño y análisis de ciclo de vida"* [Electronic Version], p. 47. Retrieved Marzo, 2009 from [http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE\\_O+Y+AC\\_V.PDF](http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE_O+Y+AC_V.PDF).
- Beltrán Sanz, J. y. o. (Ed.). (2000). *"Guía para una gestión basada en procesos"*. Instituto Andaluz de Tecnología, España: Imprenta Berekintza.
- Cardim de Carvalho Filho, A. (2001). *"Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento"*. Unpublished Doctorado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Carranza, M. A. (2008). *"Eco-eficiencia: camino hacia el desarrollo sostenible"* [Electronic Version], p. 19. Retrieved Marzo, 2009 from <http://www.uic.org.ar/Archivos/Revista/File/ECO%20UIC%20-%20Introduccion%20a%20la%20Ecoeficiencia%20-%20Marcelo%20Carranza%2013Mar08.pdf>.
- Domínguez, F. J. y. D., Y. (2006). *"Selección de una herramienta de gestión ambiental adecuada para su implementación en la industria"*. Matanzas, Cuba: Facultad de Ingeniería Química - Mecánica, Universidad de Matanzas.
- Fomento, M. d. (2005). *"La gestión por procesos"* [Electronic Version], p. 20. Retrieved Mayo, 2008 from <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/9541ACDE-55BF-4F01-B8FA-03269D1ED94D/19421/CaptuloIVPrincipiosdelagestindelaCalidad.pdf>.
- García Azcanio, A. y. o. (2007). *"La mejora de procesos más allá del valor añadido"* [Electronic Version], pp. 20. Retrieved Junio, 2008 from <http://www.umcc.cu/gestacad/monos/2007/indeco/m07179.pdf>.
- García Azcanio, A. y. o. (2008). *"Tendencias de la gestión empresarial relacionadas con procesos"* [Electronic Version], pp. 13. Retrieved Febrero, 2009 from [http://torouno.files.wordpress.com/2008/09/tendencias\\_procesos.pdf](http://torouno.files.wordpress.com/2008/09/tendencias_procesos.pdf).
- García Vílchez, E. J. (2004). *"Sistemas de gestión integrados"* [Electronic Version], p. 5. Retrieved Marzo, 2009 from <http://www.hacienda.go.cr/centro/datos/Articulo/Sistemas%20de%20gesti%C3%B3n%20integrados.pdf>.
- González Glez, A. y. I. G., C. L. (2006). *"Enfoque para el diseño del Sistema de Gestión Integrado"*. Cuba: ISPJAE-Facultad de Ingeniería Industrial

## Referencias Bibliográficas

- González Morales, V. (2008). *"Tecnología tradicional de producción de alcohol etílico"*. Cuba: UCLV "Marta Abreu".
- Horta Nogueira, L. A. (2004). *"Perspectivas de un programa de biocombustibles en América Central"* [Electronic Version], p. 84. Retrieved Diciembre, 2008 from <http://agrocombustibles.org/conceptos/CepalBiocombustiblesLac2004.pdf>.
- Iglesias, D. H. (2005). *"Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario"* [Electronic Version], 63. Retrieved Enero, 2009 from <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>.
- IICA. (2007). *"Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles"* (No. ISBN13: 978-92-9039-850-9). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. from [www.iica.int/.../Documentos%20Agroenerga%20y%20Biocombustibles/Preguntas%20y%20respuestas%20más%20frecuentes%20s...](http://www.iica.int/.../Documentos%20Agroenerga%20y%20Biocombustibles/Preguntas%20y%20respuestas%20más%20frecuentes%20s...) .
- INICA. (2007). *"Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña"* (No. ISSN 1028-6527). Cuba: Dirección de producción de Caña. Instituto Nacional de Investigación de la Caña de Azúcar. MINAZ.
- INICA. (2009). *"Recomendaciones de Fertilizantes"*. Cienfuegos, Cuba: Unidad autofinanciada servicios científico técnicos especializados. SERFE. MINAZ.
- Montoya R., M. I. (2006). "Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos". *Revista Facultad de Ingeniería*, N. 36, p. 85-95.
- Monzón González, D. (2008). *"Evaluación del Impacto Ambiental en la Empresa Gydemá con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Morín, R. B. (2005). *"Caña de azúcar y sostenibilidad: enfoques y experiencias cubanas"* [Electronic Version], p. 17. Retrieved Enero, 2009 from [http://www.desal.org.mx/IMG/pdf/MORIN---Cana\\_de\\_azucar.pdf](http://www.desal.org.mx/IMG/pdf/MORIN---Cana_de_azucar.pdf).
- "Sistemas de Gestión de la Calidad: Términos y Definiciones", NC-ISO 9000: 2001 C.F.R. (2001).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura", NC-ISO 14 040: 1999 C.F.R. (1999).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida", NC-ISO 14 042: 2001 C.F.R. (2001).
- Negrín Sosa, E. (2004). *"La gestión por procesos"* [Electronic Version], p. 26. Retrieved Marzo, 2009 from

- <http://varaix.mit.tur.cu/tcsc/LibroWeb/Webturismo/Capitulocalidad/Anexoscalidad/Procesonegrin.pdf>.
- Nova Glez, A. (2006). *"La agricultura en Cuba: evolución y trayectoria (1959-2005)"*. La Habana, Cuba: Editorial de Ciencias Sociales. ISBN 959-06-0702-0. pp. 286-301.
- Panichelli, L. (2006). *"Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel en Argentina"*. Escuela para Graduados "Alberto Soriano", Buenos Aires, Argentina.
- Peña Castellanos, L. (2006). "El mercadointernacional del azúcar: coyuntura y pronósticos de precios". *Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba, Volumen 67, No. 2*, pp. 14-23.
- Pérez Rave, J. I., Ruíz C., J. A. y Parra M., C. M. (2007, Septiembre 26, 2007). "Uso del enfoque por procesos en la actividad investigativa". *Revista chilena de Ingeniería, Vol. 15*, pp. 260-269.
- Ramos León, S. (2008). *"Evaluación de indicadores medioambientales en la Empresa ALFICSA, de Aguada de Pasajeros"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Rodríguez Becerra, M. (2005). *"Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas"*. Chile: Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente.
- Romero Rodríguez, B. I. (2004). *"El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental"* [Electronic Version], p. 7. Retrieved Diciembre, 2008 from [www.ije.org.mx/boletin032003/tend.pdf](http://www.ije.org.mx/boletin032003/tend.pdf)
- Saballo Daniel, E. A. (2005). *"Procedimiento para realizar estudios de procesos en Empresas Hoteleras"*. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Sánchez, O. J. y o. (2007). "Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa". *Revista Universidad EAFIT, Vol. 43*, Colombia. pp. 59-79.
- Suárez Olivera, P. V. (2008). *"Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Suppen, N. (2007). *"Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño"*. México: Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. from disponible en: [www.lcamexico.com](http://www.lcamexico.com).
- Veiga. (2008). *"El estado mundial de la agricultura y la alimentación"*. ISBN 978-92-5-305980-5. ISSN 0251-1371. p. 15.
- Villarroel Castro, J. M. y O. B., Lino (2008). "Combustibles alternativos en el transporte de Cuba". *Revista Eco Solar, Vol. 9*.
- Zaratiegui, J. R. (1999). "La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa". *Revista Economía Industrial, Vol. VI*, España. p. 82.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### Bibliografía

- Alessandro, J. M. (2006). *"La producción de biocombustibles"* [Electronic Version], 13. Retrieved Enero, 2009 from <http://eco.unne.edu.ar/contabilidad/costos/SanLuis2006/area7b.pdf>.
- Aranda, A. (2006). *"Ecodiseño y análisis de ciclo de vida"* [Electronic Version], p. 47. Retrieved Marzo, 2009 from [http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE\\_O+Y+ACV.PDF](http://portal.aragon.es/portal/page/portal/PYME/CADI/NOVEDADES/ECODISE_O+Y+ACV.PDF).
- Bailey, R. (2008). *"Otra verdad incómoda"* [Electronic Version], p. 68. Retrieved Diciembre, 2008 from [http://www.oxfam.org/files/otra%20verdad\\_0.pdf](http://www.oxfam.org/files/otra%20verdad_0.pdf).
- Beltrán Sanz, J. y. o. (Ed.). (2000). *"Guía para una gestión basada en procesos"*. Instituto Andaluz de Tecnología, España: Imprenta Berekintza.
- Cardim de Carvalho Filho, A. (2001). *"Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento"*. Unpublished Doctorado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Carranza, M. A. (2008). *"Eco-eficiencia: camino hacia el desarrollo sostenible"* [Electronic Version], p. 19. Retrieved Marzo, 2009 from <http://www.uic.org.ar/Archivos/Revista/File/ECO%20UIC%20-%20Introduccion%20a%20la%20Ecoeficiencia%20-%20Marcelo%20Carranza%2013Mar08.pdf>.
- Castelló Ruiz, P. (2004). *"Impacto medioambiental de los combustibles, su estudio y el papel de los biocombustibles"* [Electronic Version], p. 8. Retrieved Diciembre, 2008 from [www.dialnet.unirioja.es](http://www.dialnet.unirioja.es).
- Choy, G. (2008). *"Biocombustibles: Desarrollos recientes y su impacto en la balanza comercial, los términos de intercambio y la inflación en el Perú"* [Electronic Version], p. 34. Retrieved Enero, 2008 from <http://www.bcrp.gob.pe/bcr/dmdocuments/Publicaciones/Wpapers/DT-2008005.pdf>.
- Domínguez, F. J. y. D., Y. (2006). *"Selección de una herramienta de gestión ambiental adecuada para su implementación en la industria"*. Matanzas, Cuba: Facultad de Ingeniería Química - Mecánica, Universidad de Matanzas.
- Dufey, A. (2006). *"Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas"*. Londres: Grupo de Mercados Sustentables del IIED. ISBN 978-1-84369-666-7. p. 69.
- Fomento, M. d. (2005). *"La gestión por procesos"* [Electronic Version], p. 20. Retrieved Mayo,

- 2008 from <http://www.fomento.es/NR/ronlyres/9541ACDE-55BF-4F01-B8FA-03269D1ED94D/19421/CaptuloIVPrincipiosdelagestindelaCalidad.pdf>.
- García Azcanio, A. y. o. (2007). *"La mejora de procesos más allá del valor añadido"* [Electronic Version], pp. 20. Retrieved Junio, 2008 from <http://www.umcc.cu/gestacad/monos/2007/indeco/m07179.pdf>.
- García Azcanio, A. y. o. (2008). *"Tendencias de la gestión empresarial relacionadas con procesos"* [Electronic Version], pp. 13. Retrieved Febrero, 2009 from [http://torouno.files.wordpress.com/2008/09/tendencias\\_procesos.pdf](http://torouno.files.wordpress.com/2008/09/tendencias_procesos.pdf).
- García Vílchez, E. J. (2004). *"Sistemas de gestión integrados"* [Electronic Version], p. 5. Retrieved Marzo, 2009 from <http://www.hacienda.go.cr/centro/datos/Articulo/Sistemas%20de%20gesti%C3%B3n%20integrados.pdf>.
- Gnansounou, E. y. D., A. (2005). *"Energy balance of bioethanol: a synthesis"*. Lausanne, Switzerland: Laboratory o Energy Systems, Swiss Federal Institute of Technology (EPFL). from [http://www.eners.ch/downloads/eners\\_0510\\_ebce\\_paper.pdf](http://www.eners.ch/downloads/eners_0510_ebce_paper.pdf).
- Gomelsky, R. (2003). *"Energía y desarrollo sostenible: posibilidades de financiamiento de las tecnologías limpias y eficiencia energética en el Mercosur"* (Vol. No. 55). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). ISBN 92-1-322190-3. ISSN 1680-9025. p. 31.
- González Glez, A. y. I. G., C. L. (2006). *"Enfoque para el diseño del Sistema de Gestión Integrado"*. Cuba: ISPJAE-Facultad de Ingeniería Industrial
- González Morales, V. (2008). *"Tecnología tradicional de producción de alcohol etílico"*. Cuba: UCLV "Marta Abreu".
- Guinée, J. B. y. o. (1992). *"Environmental life cycle assessmente of products"*. Centre of Environmental Science, Leiden. ISBN 90-5191-064-9. p.136.
- Honty, G. (2008). *"Agrocombustibles y sustentabilidad en América Latina"* [Electronic Version], p. 13. Retrieved Diciembre, 2008 from <http://agrocombustibles.org/conceptos/HontyAgrocombSustPonencia08.pdf>.
- Horta Nogueira, L. A. (2004). *"Perspectivas de un programa de biocombustibles en América Central"* [Electronic Version], p. 84. Retrieved Diciembre, 2008 from <http://agrocombustibles.org/conceptos/CepalBiocombustiblesLac2004.pdf>.
- Iglesias, D. H. (2005). *"Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario"* [Electronic Version], 63. Retrieved Enero, 2009 from <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>.
- INICA. (2007). *"Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña"* (No. ISSN 1028-

- 6527). Cuba: Dirección de producción de Caña. Instituto Nacional de Investigación de la Caña de Azúcar. MINAZ.
- INICA. (2009). *"Recomendaciones de Fertilizantes"*. Cienfuegos, Cuba: Unidad autofinanciada servicios científico técnicos especializados. SERFE. MINAZ.
- Kadam, K. L. (2000). *"Environmental Life Cycle Implications of Using Bagasse-Derived Ethanol as a Gasoline Oxygenate in Mumbai (Bombay)"* (Technical Report). USA: National Renewable Energy Laboratory.
- Kodera, K. (2007). *"Analysis of allocation methods of bioethanol LCA"*. Amsterdam: Faculty of Earth and Life Science, Leiden University. From [http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/students/keiji\\_kodera/analysis\\_allocation\\_methods\\_bioethanol.pdf](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/students/keiji_kodera/analysis_allocation_methods_bioethanol.pdf).
- Lechón, Y. y. o. (2005). *"Análisis del Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina"*. España: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente. ISBN 84-8320-312-X. p. 114.
- Malça, J. y. F., Fausto (2004). *"Life cycle energy analysis for bioethanol: allocation methods and implications for energy efficiency and renewability"*. Portugal, Brasil: Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra.
- Mesa O., J. (2003). *"La agroindustria de la caña de azúcar en un mercado de Desarrollo Sostenible"* [Electronic Version], p. 15. Retrieved Enero, 2009 from [www.monografias.com](http://www.monografias.com).
- Míguez, F. E. M. y. F. H. (2008). *"Biocombustibles"* [Electronic Version], p. 23. Retrieved Diciembre, 2008 from <https://netfiles.uiuc.edu/miguez/www/Research/Biocombustibles.pdf>.
- Montoya R., M. I. (2006). "Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos". *Revista Facultad de Ingeniería*, N. 36, p. 85-95.
- Monzón González, D. (2008). *"Evaluación del Impacto Ambiental en la Empresa Gydema con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Morín, R. B. (2005). *"Caña de azúcar y sostenibilidad: enfoques y experiencias cubanas"* [Electronic Version], p. 17. Retrieved Enero, 2009 from [http://www.desal.org.mx/IMG/pdf/MORIN---Cana\\_de\\_azucar.pdf](http://www.desal.org.mx/IMG/pdf/MORIN---Cana_de_azucar.pdf).
- Mosquera Martínez, P. (2006). *"Empresa y energías renovables: Lo que su empresa debe saber sobre energías renovables, eficiencia energética y Kioto"*. Madrid, España: FC Editorial. ISBN 8496169707. NRE 9788496169708. p. 295.
- "Sistemas de Gestión de la Calidad: Términos y Definiciones", NC-ISO 9000: 2001 C.F.R.

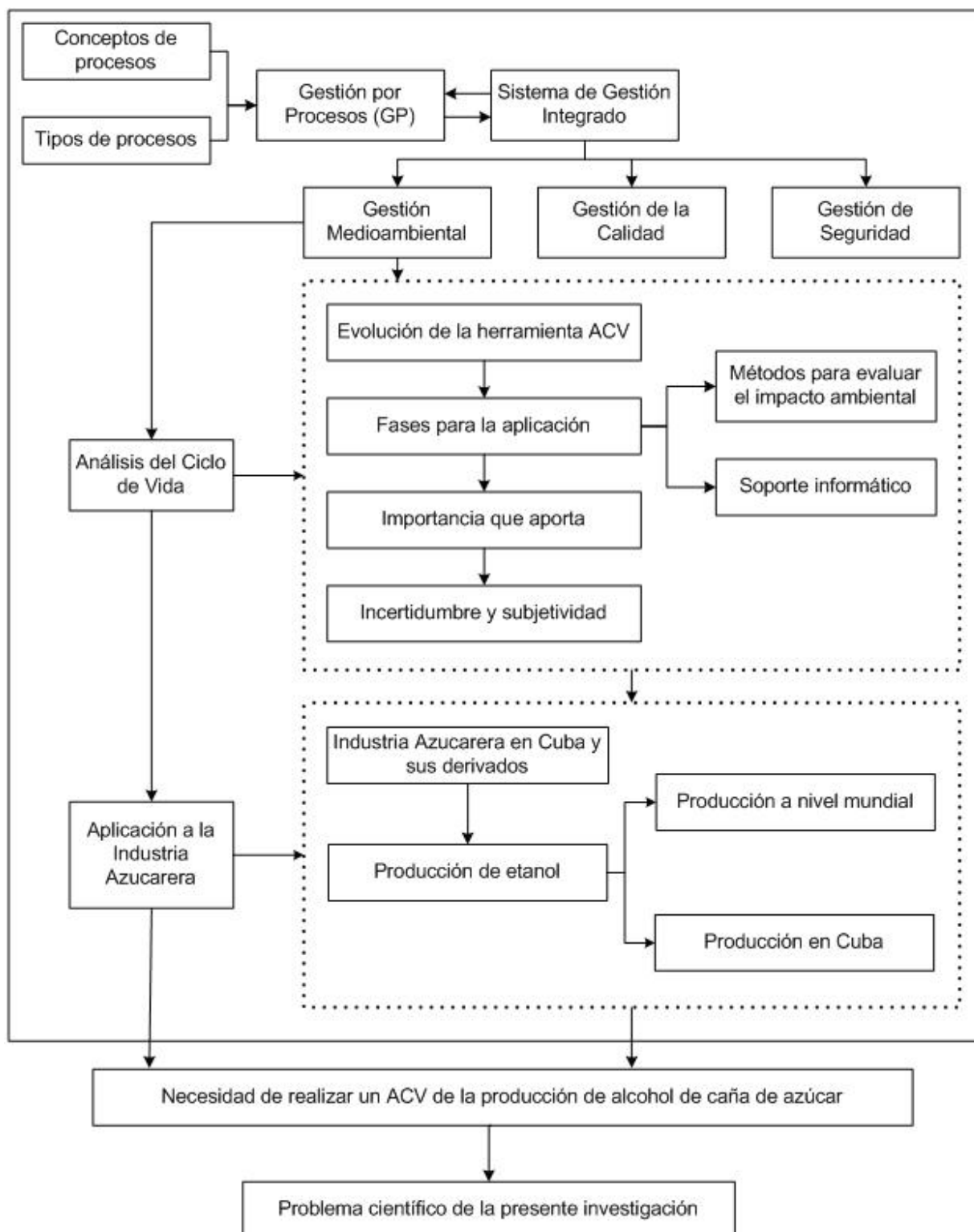
- (2001).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura", NC-ISO 14 040: 1999 C.F.R. (1999).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance, y análisis del inventario", NC-ISO 14 041: 2000 C.F.R. (2000).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida", NC-ISO 14 042: 2001 C.F.R. (2001).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida", NC-ISO 14 043: 2001 C.F.R. (2001).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario", NC-ISO 14 049: 2001 C.F.R. (2001).
- Negrín Sosa, E. (2004). *"La gestión por procesos"* [Electronic Version], p. 26. Retrieved Marzo, 2009 from <http://varaix.mit.tur.cu/tcsc/LibroWeb/Webturismo/Capitulocalidad/Anexoscalidad/Procesonegrin.pdf>.
- Nielsen, P. H. y. W., Henrik. (2005). *"Environmental Assessment of Ethanol Produced from Corn Starch and used as an Alternative to Conventional Gasoline for Car Driving"* (Technical). Denmark: Institute for Product Development, Technical University of Denmark.
- Nova Glez, A. (2006). *"La agricultura en Cuba: evolución y trayectoria (1959-2005)"*. La Habana, Cuba: Editorial de Ciencias Sociales. ISBN 959-06-0702-0. pp. 286-301.
- Ometto, A. R., Roma, W. N. L. y Ortega, E. (2004). *"Energy Life Cycle Assessment of fuel ethanol in Brazil"*. Brazil: USP Escola de Engenharia de Sao Carlos, UNICAMP Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- Panichelli, L. (2006). *"Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel en Argentina"*. Escuela para Graduados "Alberto Soriano", Buenos Aires, Argentina.
- Peña Castellanos, L. (2006). "El mercado internacional del azúcar: coyuntura y pronósticos de precios". *Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba, Volumen 67, No. 2*, pp. 14-23.
- Pérez Rave, J. I., Ruíz C., J. A. y Parra M., C. M. (2007, Septiembre 26, 2007). "Uso del enfoque por procesos en la actividad investigativa". *Revista chilena de Ingeniería, Vol. 15*, pp. 260-269.
- Puppán, D. (2002). *"Environmental evaluation of biofuels"*. Hungary: Department of Environmental Economics, Budapest University of Technology and Economics.
- Ramos León, S. (2008). *"Evaluación de indicadores medioambientales en la Empresa"*

- ALFICSA, de *Aguada de Pasajeros*". UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Renouf, M. (2009). *"LCA of Queensland cane sugar - lesson for the application of LCA to cropping systems in Australia"*. Queensland: School of Geography, Planning and Architecture, The University of Queensland, Cooperative Research Center for Sugar Industry Innovation through Biotechnology.
- Reyes Montiel, J. L., Pérez B., Raúl, Betancourt M., Jesús (2008). "Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental". *Revista Eco Solar*, Vol. 5.
- Rodríguez Becerra, M. (2005). *"Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas"*. Chile: Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente.
- Romero Rodríguez, B. I. (2004). *"El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental"* [Electronic Version], p. 7. Retrieved Diciembre, 2008 from [www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf](http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf)
- Rosa do Espirito Santo, B. (2006). *"La Agroenergía en la matriz energética"* (1ra ed.). Buenos Aires, Argentina: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). ISBN 987-9159-09-8. p. 55.
- Saballo Daniel, E. A. (2005). *"Procedimiento para realizar estudios de procesos en Empresas Hoteleras"*. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Sánchez, O. J. y. o. (2007). "Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa". *Revista Universidad EAFIT*, Vol. 43, Colombia. pp. 59-79.
- Seixas, M. A. (2006). *"Estrategias para construir una plataforma de cooperación horizontal sobre agroenergía y biocombustibles"* [Electronic Version], p. 97. Retrieved Enero, 2009 from [http://www.agrocadenas.gov.co/biocombustibles/documentos/Programa\\_Agroenergia\\_2006\\_IICA.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/biocombustibles/documentos/Programa_Agroenergia_2006_IICA.pdf).
- Suárez Olivera, P. V. (2008). *"Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Suppen, N. (2007). *"Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño"*. México: Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. from disponible en: [www.lcamexico.com](http://www.lcamexico.com).
- Turrini, E. (2006). *"El camino del Sol"*. Ciudad de La Habana, Cuba Cubasolar. ISBN 959-7113-17-1. p. 365.
- Veiga. (2008). *"El estado mundial de la agricultura y la alimentación"*. ISBN 978-92-5-305980-5. ISSN 0251-1371. p. 15.

- Villarroel Castro, J. M. y. O. B., Lino (2008). "Combustibles alternativos en el transporte de Cuba". *Revista Eco Solar*, Vol. 9.
- Wyman, C. (1996). "*Handbook on bioethanol: production and utilization*": Publicado por Taylor & Francis. ISBN 1560325534. ERN 9781560325536. p. 424.
- Zaratiegui, J. R. (1999). "La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa". *Revista Economía Industrial*, Vol. VI, España. p. 82.

## **ANEXOS**

**Anexo No. 1:** Hilo conductor de la investigación. **Fuente:** Elaboración propia.



**Anexo No. 2:** Conceptos de Gestión por procesos. **Fuente:** Elaboración propia.

| Autor                                                                                                                                 | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Amozarrain (1999)<br>(García Azcanio, 2007)                                                                                           | Gestiona toda la organización basándose en los Procesos. Entiende estos como una secuencia de actividades orientadas a generar un valor añadido sobre una ENTRADA para conseguir un resultado, y una SALIDA que a su vez satisfaga los requerimientos del Cliente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| (Zaratiegui, 1999)                                                                                                                    | El éxito de toda organización depende, cada vez más, de que sus procesos empresariales estén alineados con su estrategia, misión y objetivos. Detrás del cumplimiento de un objetivo, se encuentra la realización de un conjunto de actividades que, a su vez, forman parte de un proceso. Es por ello que el principal punto de análisis lo constituye, precisamente, la gestión de la empresa basada en los procesos que la integran para diseñar y estructurar en interés de sus clientes.                                                                                                                             |
| Institute for<br>Process<br>Management, and<br>Working<br>Knowledge<br>&<br>Antares<br>Consulting (2000)<br>(Saballo Daniel,<br>2005) | Un proceso de negocio es cualquier grupo amplio de actividades de una compañía relacionado con los objetivos últimos de desarrollo de un producto o servicio para el cliente. Generalmente se evalúan desde el punto de vista del cliente. Asegurar que el proceso transcurre sin contratiempos es crítico para maximizar el valor añadido que proporciona a su cliente y gestionar los procesos clave de forma eficiente es crítico para el éxito de la compañía y puede ser más duro de lo que parece a simple vista - en especial porque estos procesos no se sostienen por si mismos, sino que interactúan con otros. |
| Jiménez, José M.<br>(2002)<br>(Saballo Daniel,<br>2005)                                                                               | Percibe la organización como un sistema interrelacionado de procesos que contribuyen conjuntamente a incrementar la satisfacción del cliente. Supone una visión alternativa a la tradicional caracterizada por estructuras organizativas de corte jerárquico - funcional, y que en buena medida dificulta la orientación de las empresas hacia el cliente.                                                                                                                                                                                                                                                                |

**Anexo No. 3:** Aspectos generales de las herramientas para la gestión ambiental.

**Fuente:** (Cardim de Carvalho Filho, 2001)

| <b>Herramientas</b>                                  | <b>Objetivos generales</b>                                                                                                                 | <b>Puntos fuertes</b>                                                                                           | <b>Puntos débiles</b>                                                                                                       |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Riesgo Ambiental (RA)</b>                         | Valorar los efectos adversos asociados a una situación específica de riesgo y sus interrelaciones con la salud humana y el medio ambiente. | Evalúa los efectos locales y regionales bajo condiciones específicas.                                           | Es capaz de consumir mucho tiempo y recursos. No es capaz de apuntar la ubicación del riesgo a lo largo del ciclo de vida.  |
| <b>Estudio del Impacto Ambiental (EIA)</b>           | Evaluar los impactos positivos y negativos sobre el medio ambiente de un determinado proyecto planteado.                                   | Calcula tanto efectos positivos como negativos. Considera los impactos locales de un proyecto.                  | No es capaz de apuntar fácilmente la ubicación de un efecto global / regional o otros efectos a lo largo del ciclo de vida. |
| <b>Auditoría Ambiental (AA)</b>                      | Verificar la conformidad con determinados requisitos normativos vigentes, por medio de chequeo realizado por tercera parte.                | Proporciona una manera para que una tercera parte, independiente, compruebe los resultados.                     | Enfoca una conformidad y enfatiza en término medio de más débil que de mejoría.                                             |
| <b>Evaluación del Comportamiento Ambiental (ECA)</b> | Proporcionar una información fiable, objetiva y comprobable a cerca del desempeño medioambiental de una determinada organización.          | Promociona coeficientes de desempeño medioambiental asociándolos a políticas objetivas y metas preestablecidas. | Promociona coeficientes de desempeños relativos y no absolutos.                                                             |
| <b>Análisis del Flujo de Sustancias (AFS)</b>        | Contabilizar el suministro y la demanda de una sustancia específica que fluye a través del proceso de producción.                          | Toma en consideración un impacto potencial determinado a lo largo del ciclo de vida.                            | El enfoque sobre una única sustancia puede apuntar falsos resultados.                                                       |

**Anexo No. 3:** Aspectos generales de las herramientas para la gestión ambiental (Continuación).

**Fuente:** (Cardim de Carvalho Filho, 2001)

| <b>Herramientas</b>                         | <b>Objetivos generales</b>                                                                                                                    | <b>Puntos fuertes</b>                                                                                                      | <b>Puntos débiles</b>                                                                |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Análisis de Material y Energía (AME)</b> | Calcular el balance energético y material asociado con una operación específica.                                                              | Promociona una vía estructurada de identificación y valoración de un impacto potencial de operaciones, etc.                | Enfoca solamente una fases del ciclo de vida.                                        |
| <b>Gestión Integral de Sustancias (GIS)</b> | Calcular y reducir globalmente el impacto medioambiental de una determinada sustancia asociada.                                               | Permite hacer consideraciones integradas entre económicas y medioambientales en una misma herramienta.                     | Emplea una valoración simplificada que puede dar respuestas demasiado simplificadas. |
| <b>Análisis de Línea de Producto (ALP)</b>  | Evaluar potencialmente el impacto medioambiental, social y económico de un bien o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.               | Integra aspectos medioambientales, económicos y sociales dentro de una solo herramienta.                                   | No puede valorar específicamente impactos locales.                                   |
| <b>Análisis del Ciclo de Vida (ACV)</b>     | Entender el perfil medioambiental de un sistema.<br>Identificar prioridad de mejoras.<br>Asegurar mejoras con fundamento en el ciclo de vida. | Considera impactos global y regional.<br>Posibilita estimar los impactos que en términos influyen la salud de la sociedad. | No es capaz de apuntar el carácter temporal o espacial de un determinado efecto.     |

**Anexo No. 4:** Conceptos de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). **Fuente:** Elaboración propia.

| Autor                                    | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SETAC<br>(1993)<br>(Iglesias,<br>2005)   | Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final. |
| (NC-<br>ISO14040,<br>1999)               | El ACV es una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, mediante: la recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema producto; la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas; la interpretación de los resultados de las fases del análisis del inventario y evaluación del impacto de acuerdo con los objetivos del estudio.                                       |
| (Montoya R.,<br>2006)                    | La metodología de análisis del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) es una herramienta de análisis sistemático que considera los impactos ambientales de productos o servicios y provee una estructura de referencia para el desarrollo de índices de inspección, especialmente en la extensión de las fronteras del sistema hacia las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto.                                                                                                         |
| (Panichelli,<br>2006)                    | Es una herramienta de gestión ambiental que evalúa de modo sistemático los aspectos ambientales y los impactos ambientales potenciales de un producto a través de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima, su producción, uso, tratamiento final, reciclado y disposición final.                                                                                                                                                                                                         |
| Azapagic<br>(1999)<br>(Sánchez,<br>2007) | Proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales y energía y de las descargas al ambiente; y para identificar y evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales.                                                                                                                         |
| (Romero<br>Rodríguez,<br>2004)           | El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto.                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Anexo No. 5:** Cronología del desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida.

**Fuente:** (Monzón González, 2008)

| Año       | Acontecimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1969      | Harry E. Teasley, de Coca Cola, visualiza un estudio que pueda cuantificar la energía, materiales y consecuencias ambientales a lo largo del ciclo de vida completo del empaque, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. (Hunt y Franklin, 1996).                        |
| 1970      | El <i>Midwest Research Institute</i> (MRI) desarrolla un estudio ancestro de los Análisis del Ciclo de Vida, el que se llama " <i>Resources and Environmental Profile Analysis</i> (REPA)", donde se analizan diferentes embases, para <i>Coca Cola Company</i> (Hunt y Franklin, 1996).             |
| 1971      | El segundo REPA realizado por MRI es para <i>Mobil Chemical Company</i> , se analizan las charolas de espuma de poliestireno y las charolas de pulpa de papel (Hunt y Franklin, 1996).                                                                                                               |
| 1972-1976 | Se publican largas porciones de las bases de datos y se describe la metodología de los REPA (Franklin y Hunt, 1972; Hunt y Franklin, 1973; Hunt y Welch, 1974; Cross et al., 1974 y Hunt y Franklin, 1976).                                                                                          |
| 1974      | La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos publica el reporte " <i>Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Container Alternatives</i> ", que marca la entrada de los REPA dentro del dominio público (Hunt y Franklin, 1974).                                     |
| 1975      | El sector público pierde interés en los REPA pero se realizan muchos estudios confidenciales para compañías particulares (Bider, et al., 1980)                                                                                                                                                       |
| 1979      | En Reino Unido, Ian Boustead publica el " <i>Handbook of Industrial Energy Analysis</i> " (Astrup, et al., 1997).                                                                                                                                                                                    |
| 1980      | Se publica un reporte por el <i>Solar Energy Research Institute</i> en los Estados Unidos (Bider, et al., 1980)                                                                                                                                                                                      |
| 1984      | El Laboratorio Federal Suizo para el Ensayo y la Investigación de Materiales (EMPA), publica un estudio de materiales de envase y embalaje que introduce un método para agregar los distintos impactos ambientales en un solo índice, el llamado "método de los volúmenes críticos" (Druijff, 1984). |

**Anexo No. 5:** Cronología del desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida. (Continuación)

| Año       | Acontecimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1988      | En 1988 la crisis de los residuos sólidos en Estados Unidos y la actividad ambiental en Europa, desencadenan una explosión de actividad en REPA. Al principio, los residuos sólidos son la clave, especialmente el cómo reciclar, la sustitución de materiales y el residuo de productos para reducir la dependencia de los vertederos (Boustead I., 1996). |
| 1990      | Primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC), para abrir el debate sobre REPA, uno de los resultados fue la adopción del término " <i>Life Cycle Assessment</i> " (LCA), en español Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (SETAC, 1990)                                                                                                |
| 1991      | EPA inicia actividades en ACV con el interés primario de asistir en el desarrollo de guías y bases de datos para uso del sector público y privado (Hunt y Franklin, 1996)                                                                                                                                                                                   |
| 1992      | En 1992 Franklin Associates publica un artículo donde se presenta, completa, por primera vez la metodología de ACV (Hunt et al., 1992).<br><br>Se crea SPOLD (de <i>Society for the Promotion Of LCA Development</i> ), una asociación de 20 grandes compañías en Europa, con el objetivo de promover el desarrollo y la aplicación del ACV.                |
| 1993      | La EPA publica un documento guía para el inventario (Vigon et al., 1993).<br><br>SETAC publica el " <i>Code of Practice</i> " (Consoli et al., 1993) y " <i>LCA Sourcebook</i> " y fomenta numerosos talleres y reuniones que tienen como objetivo alcanzar el consenso en los aspectos metodológicos del Análisis del Ciclo de Vida.                       |
| 1997      | Se publica la serie de normas ISO 14040 referente a ACV.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2000      | Se conducen estudios de ACV en todo el mundo, muchos de éstos trabajos son a gran escala y se enfocan en los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables para producir electricidad (ABB, 2002)                                                                                                                                      |
| 2002      | Se lleva a cabo la Reunión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en Johannesburgo y se reconoce al ACV como una herramienta de apoyo para fomentar el cambio en los patrones de consumo y producción (UNEP, 2004)                                                                                                                                          |
| 2002-2008 | Se realizan ACV en todo el mundo. Se forman asociaciones de ACV por regiones y desarrollan investigación, aplicación, consultorías y reuniones. Se desarrollan modelos computacionales especializados y genéricos.                                                                                                                                          |

**Anexo No. 6:** Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental.

**Fuente:** (Suppen, 2007)

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ECO<br/>INDICADOR<br/>99</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollado por Pre con colaboración de científicos suizos.</li> <li>• Tres versiones: jerarquizado, igualitario, individualista.</li> <li>• Difiere en la concepción del mundo y realizar diferentes suposiciones sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Que sustancias incluir.</li> <li>– Horizonte de tiempo.</li> <li>– Substitución de recursos, cuando se agotan.</li> </ul> </li> <li>• Otras características: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Incluye descomposición y movimiento de las sustancias en el ambiente.</li> <li>– Uso de suelo, partículas, agotamiento de minerales.</li> <li>– Ponderación por medio de un panel (especialistas en medio ambiente).</li> </ul> </li> </ul> |
| <p><b>CML</b></p>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollado por un científico en Leiden (Holanda).</li> <li>• Recopilación de métodos desarrollados por otros o por el mismo CML en el pasado.</li> <li>• En SimaPro solo la base. Pocas versiones de caracterización de algunos efectos.</li> <li>• Otras características: <ul style="list-style-type: none"> <li>– No ponderación.</li> <li>– Diferentes puntajes para eco-toxicidad.</li> <li>– Horizonte de tiempo infinito: los metales dan calificaciones muy altas.</li> <li>– No uso de suelo o partículas.</li> <li>– Transparente, buena calidad de los modelos detrás de los cálculos.</li> </ul> </li> </ul>                                                                                             |
| <p><b>EDIP</b></p>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método danés, desarrollado por investigadores ambientales.</li> <li>• Mejora de CML 92.</li> <li>• En desarrollo: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Factores de caracterización específicos y regionales (no apoyados por SimaPro).</li> <li>– Se actualizará (ecoinvent y EDIP).</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

**Anexo No. 6:** Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental  
(Continuación)

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EPS</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Environmental Priority Strategies en diseño de productos.</li> <li>• Método sueco (Bengt Steen).</li> <li>• Calificaciones solas basadas en valores monetarios.</li> <li>• Otras características: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Las categorías son diferentes a las clásicas: morbilidad, problemas (fastidio).</li> <li>– “salidas diferentes”: efectos positivos para capacidad de producción.</li> <li>– Agua (capacidad de producción) incluida.</li> </ul> </li> </ul>                  |
| <b>ECOPUNTOS</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método suizo.</li> <li>• Se conoce como <i>knapsack</i>, UBP, <i>ecoscarcity</i>.</li> <li>• Simplificación de Eco-indicador 95, con ponderación basado en políticas suizas (distancia al objetivo).</li> <li>• Método viejo pero muy popular en Suiza (éxito de la simplicidad).</li> <li>• Ecoinvent no está bien caracterizado la categoría de desechos (importante para una calificación final, principalmente por residuos nucleares).</li> </ul>                                                  |
| <b>TRACI</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método desarrollado por la US EPA.</li> <li>• Enfoque en emisiones tóxicas.</li> <li>• Destino de los contaminantes no incluido.</li> <li>• Desarrollado por científicos: no está diseñado para inventarios disponibles en las bases de datos públicas.</li> <li>• Se desarrolla un grupo de normalización.</li> <li>• BEES: caracterización para emisiones de interiores.</li> </ul>                                                                                                                   |
| <b>IMPACT 2002 +</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollado por EPFL en Suiza.</li> <li>• Mejoras para emisiones tóxicas, reuso de los métodos existentes para otros efectos.</li> <li>• Intermedias/finales (no calificación única).</li> <li>• Otras características: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Método completo.</li> <li>– Distingue entre emisiones a largo plazo.</li> <li>– Adaptado en ecoinvent.</li> <li>– Científicos: muchos factores de caracterización disponibles que no se usan en el inventario.</li> </ul> </li> </ul> |

**Anexo No. 7:** Herramientas informáticas para el ACV. **Fuente:** (Aranda, 2006)

|               | <b>Compañía desarrolladora</b>                                                 | <b>Contacto</b>                                                                                  | <b>Comentarios</b>                                                                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Base de Dato  |                                                                                |                                                                                                  |                                                                                                                        |
| Buwal 250     | Swiss Institute of Packing                                                     | <a href="http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index">www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index</a> | Incluye un total de 248 tipos de procesos.                                                                             |
| Data Archive  | Pré Consultants                                                                | <a href="http://www.pre.nl">http://www.pre.nl</a>                                                | Incluye un total de 383 tipos de procesos.                                                                             |
| ECOINVENT     | ETH Research Institute<br>Swiss Federal Offices<br>(EMPA, Agroscope, PSI, etc) | <a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a>                                           | Incluye un total de 2700 tipos de procesos.                                                                            |
| ETH-ESU       | ETH-ESU Research Institute (Zurich)                                            | <a href="http://www.uns.ethz.ch">www.uns.ethz.ch</a>                                             | Incluye un total de 1100 tipos de procesos.                                                                            |
| IDEMAT        | Delft University of Technology de Holanda                                      | <a href="http://www.io.tudelft.nl">www.io.tudelft.nl</a>                                         | Incluye un total de 508 tipos de procesos.                                                                             |
| INDUSTRY DATA | Various international industrial associations                                  | <a href="http://www.apme.org/lca">www.apme.org/lca</a>                                           | Incluye un total de 74 tipos de procesos.                                                                              |
| Programas     |                                                                                |                                                                                                  |                                                                                                                        |
| Boustead      | Boustead Consulting (Reino Unido)                                              | <a href="http://www.boustead-consulting.co.uk">http://www.boustead-consulting.co.uk</a>          | Herramienta muy completa indicada para realizar estudios de ACV dentro de la industria química, plásticos, acero, etc. |
| Eco-it        | Pré Consultants(Países Bajos)                                                  | <a href="http://www.pre.nl">http://www.pre.nl</a>                                                | Especialmente indicado para diseñadores de productos y envases. Utiliza el Ecoindicador'99. Su manejo es sencillo.     |

**Anexo No. 7:** Herramientas informáticas para el ACV (continuación).

|         | Compañía desarrolladora                                     | Contacto                                                                      | Comentarios                                                                                                                                                   |
|---------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ecopro  | Sinum AG. -<br>EcoPerformanceSystems<br>(Suiza)             | <a href="http://www.sinum.com">http://www.sinum.com</a>                       | Permite la realización sencilla de ciclos de vida del producto. Utiliza la base de datos BUWAL.                                                               |
| Ecoscan | TNO Industrial<br>Technology (Países Bajos)                 | <a href="http://www.ind.tno.nl">http://www.ind.tno.nl</a>                     | Puede utilizarse por encargados y técnicos responsables de implantación del ecodiseño de productos. Dispone de varias bases de datos y su manejo es sencillo. |
| Euklid  | Fraunhofer-Institut<br>(Alemania)                           | <a href="http://www.ivv.fhg.de">http://www.ivv.fhg.de</a>                     | Programa orientado a estudios de ACV de productos industriales.                                                                                               |
| Gabi    | Universidad de Stuttgart<br>(Alemania)                      | <a href="http://www.gabi-software.com">http://www.gabi-software.com</a>       | Además de las posibilidades convencionales de ACV, este programa permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos.                          |
| KCL Eco | Finnish Pulp and Paper<br>Research Institute<br>(Finlandia) | <a href="http://www.kcl.fi/eco">http://www.kcl.fi/eco</a>                     | Presenta una interfaz gráfica muy completa.<br>Posee los indicadores Ecoindicador95 y DAIA 98 y destaca por sus datos de la industria papelera.               |
| LCAit   | ChalmersIndustritenik<br>(Suecia)                           | <a href="http://www.ekologik.chalmers.se">http://www.ekologik.chalmers.se</a> | Su aplicación principal es en el sector de envases y productos de papel.                                                                                      |

**Anexo No. 7:** Herramientas informáticas para el ACV (continuación).

|         | Compañía desarrolladora                 | Contacto                                                                                                  | Comentarios                                                                                                                                                                 |
|---------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Miet    | Universidad de Leiden<br>(Países Bajos) | <a href="http://www.leidenuniv.nl/lc/ml/ssp/software">http://www.leidenuniv.nl/lc/ml/ssp/software</a>     | Trabaja con MS Excel y se basa en datos ambientales de Estados Unidos. Tiene carácter gratuito.                                                                             |
| Pems    | Pira International(Reino Unido)         | <a href="http://www.piranet.com/pa/ck/lca_software.htm">http://www.piranet.com/pa/ck/lca_software.htm</a> | Puede ser utilizado tanto por principiantes como por expertos en la materia. Su interfaz gráfico es flexible.                                                               |
| Simapro | Pré Consultants(Países Bajos)           | <a href="http://www.pre.nl">http://www.pre.nl</a>                                                         | Permite realizar ACVs completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos. Adecuada para departamentos de diseño o I+D. |
| Team    | Ecobilan(Francia)                       | <a href="http://www.ecobilan.com">http://www.ecobilan.com</a>                                             | Herramienta muy completa, flexible y potente aunque algo más compleja de utilizar. Permite introducir información relativa a costes.                                        |
| Umberto | UmbertoIfeu-Institut<br>(Alemania)      | <a href="http://www.umberto.de">http://www.umberto.de</a>                                                 | Ofrece datos de gran calidad y resultados transparentes. Las librerías de datos son completas y flexibles. Indicado para realizar eco-balances empresariales.               |
| Wisard  | PricewaterhouseCoopers<br>(Francia)     | <a href="http://www.pwcglobal.com">http://www.pwcglobal.com</a>                                           | Indicado para análisis del impacto económico y medioambiental de residuos sólidos municipales.                                                                              |

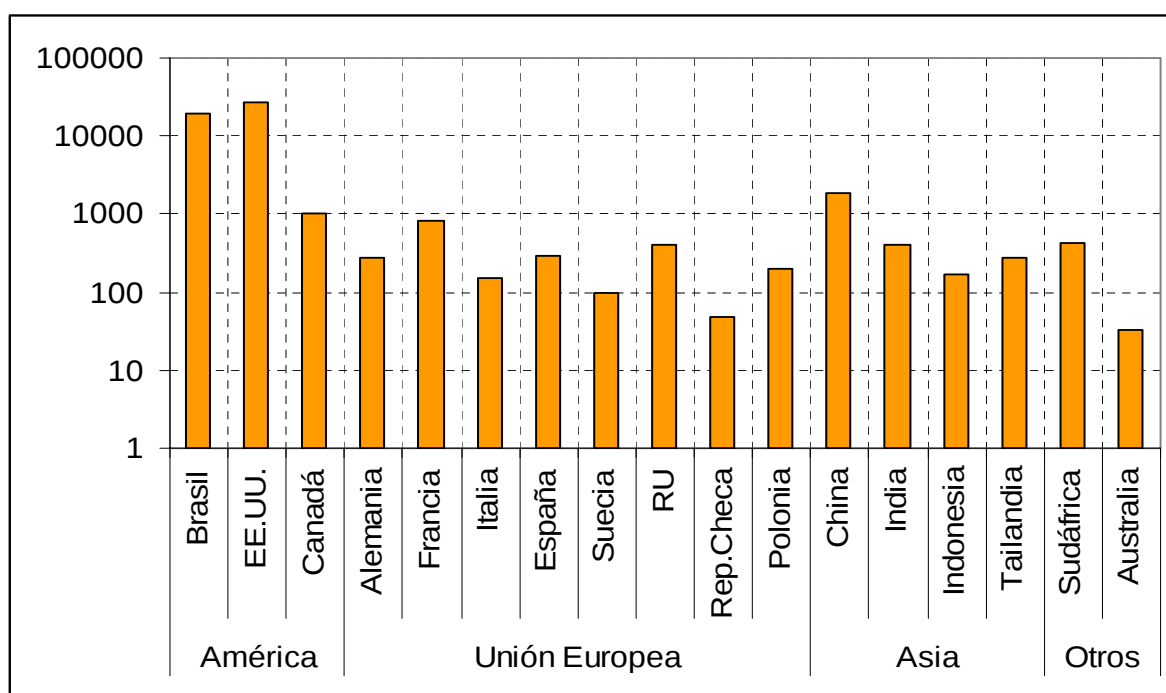
**Anexo No. 8:** Ventajas y desventajas del uso del bioetanol respecto a los combustibles.

Fuente: (IICA, 2007)

|                  | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bioetanol</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al ser renovable y producido localmente, el etanol permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países. Esto es aún más importante para los países no productores de petróleo, dado que la mayoría de este se encuentra en zonas de alta inestabilidad política, como el Medio Oriente, y que la tendencia de los precios es continuar aumentando o manteniéndose elevados.</li> <li>– El etanol, al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje de manera considerable, lo que ayuda a descontaminar nuestras ciudades y a reducir los gases causantes del efecto invernadero.</li> <li>– Al ser un aditivo oxigenante, el etanol también reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana, como el plomo y el MTBE, los cuales han causado el incrementado del porcentaje de personas afectadas por cáncer (MTBE) y la disminución de capacidades mentales, especialmente en niños (plomo).</li> <li>– El octanaje del etanol puro es de 113 y se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, por lo que da más poder a los motores.</li> <li>– El etanol actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío y previniendo el congelamiento.</li> <li>– Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los habitantes rurales y, por ende, elevando su nivel de vida.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– El etanol se consume de un 25% a un 30% más rápidamente que la gasolina; para ser competitivo, por tanto, debe tener un menor precio por galón.</li> <li>– Cuando es producido a partir de caña de azúcar, en muchos lugares se continúa con la práctica de quemar la caña antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de metano y óxido nitroso, dos gases que agravan el calentamiento global. Esto se solucionaría mecanizando el proceso de cosecha, pero disminuiría el empleo rural, a pesar de las críticas que se han hecho a las condiciones de este.</li> <li>– Cuando el etanol es producido a partir de maíz, en su proceso de elaboración se está utilizando gas natural o carbón para producir vapor y en el proceso de cultivo se usan fertilizantes nitrogenados, herbicidas de origen fósil y maquinaria agrícola pesada. Esto podría solucionarse mediante el uso de sistemas de producción agrícola orgánicos o por lo menos ecológicos. También se puede utilizar el CO2 proveniente de las destilerías para la producción de algas (que a su vez se pueden usar para producir biocombustibles). Además, en caso de que haya ganaderías cercanas, se puede usar el metano del estiércol para producir vapor (en esencia este equivale a usar biogás para producir biocombustible).</li> </ul> |

**Anexo No. 9:** Producción de Bioetanol a nivel Mundial. **Fuente:** Elaboración Propia.

| País                 | Producción de Bioetanol |                                    |                                   |
|----------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
|                      | Producción (ML)         | Uso típico                         | Cultivo Energético                |
| <b>América</b>       |                         |                                    |                                   |
| Brasil               | 19 000                  | E26                                | Caña de Azúcar                    |
| EE.UU.               | 26 500                  | E10                                | Maíz (95%), Sorgo                 |
| Canadá               | 1 000                   | E10                                | Trigo y Paja                      |
| <b>Unión Europea</b> |                         |                                    |                                   |
| Alemania             | 269                     |                                    | Centeno y Trigo                   |
| Francia              | 829                     |                                    | Remolacha y Trigo                 |
| Italia               | 151                     |                                    | Trigo                             |
| España               | 299                     |                                    | Trigo, Cebada y Vino              |
| Suecia               | 98                      | Combustible, Calefacción (E5, E85) | Productos Forestales y Trigo      |
| RU                   | 401                     |                                    | Remolacha                         |
| Rep. Checa           | 47                      |                                    |                                   |
| Polonia              | 201                     |                                    |                                   |
| <b>Asia</b>          |                         |                                    |                                   |
| China                | 1 840                   | E10                                | Maíz, yuca, caña de azúcar, arroz |
| India                | 400                     | E5                                 | Caña de azúcar                    |
| Indonesia            | 167                     |                                    | Caña de azúcar                    |
| Tailandia            | 280                     | E10                                | Caña de azúcar                    |
| <b>Otros</b>         |                         |                                    |                                   |
| Sudáfrica            | 416                     |                                    | Caña de azúcar y Maíz             |
| Australia            | 33                      |                                    | Caña de azúcar                    |
| <b>Total</b>         | <b>51 931</b>           |                                    |                                   |



**Anexo No. 10:** Rendimientos del etanol para diferentes materias primas y países.

**Fuente:** (Veiga, 2008)

| Cultivo             | Estimaciones Mundiales/ Nacionales | Rendimiento del cultivo (t/ha) | Eficiencia de la conversión (l/t) | Rendimiento del biocombustible (l/ha) |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Remolacha azucarera | Mundial                            | 46.0                           | 110                               | 5060                                  |
| Caña de azúcar      | Mundial                            | 65.0                           | 70                                | 4550                                  |
| Yuca                | Mundial                            | 12.0                           | 180                               | 2070                                  |
| Maíz                | Mundial                            | 4.9                            | 400                               | 1960                                  |
| Arroz               | Mundial                            | 4.2                            | 430                               | 1806                                  |
| Trigo               | Mundial                            | 2.8                            | 340                               | 952                                   |
| Sorgo               | Mundial                            | 1.3                            | 380                               | 494                                   |
| Caña de Azúcar      | Brasil                             | 73.5                           | 74.5                              | 5476                                  |
| Caña de azúcar      | India                              | 60.7                           | 74.5                              | 4522                                  |
| Maíz                | EUA                                | 9.4                            | 399                               | 3751                                  |
| Maíz                | China                              | 5.0                            | 399                               | 1995                                  |
| Yuca                | Brasil                             | 13.6                           | 137                               | 1863                                  |
| Yuca                | Nigeria                            | 10.8                           | 137                               | 1480                                  |

**Anexo No. 11:** Datos de entrada y salida del Cultivo de la Caña de Azúcar. **Fuente:** Elaboración Propia.

| Materiales                   | UM | Cantidad   |        |
|------------------------------|----|------------|--------|
|                              |    | Real       | Índice |
| Entradas desde la Tecnósfera |    |            |        |
| Suelo                        | ha | 6817.42    | 0.03   |
| Variedades de semilla        | t  | 68174.2    | 0.33   |
| Herbicidas líquidos          | L  | 34223.45   | 0.21   |
| Finale                       | L  | 4499.5     | 0.02   |
| Asulam                       | L  | 3749.58    | 0.02   |
| Hexazinona                   | L  | 1840.7     | 0.01   |
| MSMA                         | L  | 9408.04    | 0.05   |
| Esterol                      | L  | 7362.81    | 0.04   |
| Sal de Amina                 | L  | 6749.25    | 0.03   |
| Acidificantes                | L  | 613.57     | 0.003  |
| Glifosato                    | L  | 8998.99    | 0.04   |
| Herbicidas sólidos           | kg | 16954.92   | 0.08   |
| Diurón                       | kg | 6203.85    | 0.0303 |
| Ametrina                     | kg | 7567.34    | 0.037  |
| Amigan                       | kg | 1227.14    | 0.006  |
| Merlin                       | kg | 613.57     | 0.003  |
| Envoke                       | kg | 47.72      | 0.0002 |
| Doblete                      | kg | 1295.31    | 0.0063 |
| Fertilizantes Minerales      |    |            |        |
| Urea                         | kg | 953075.32  | 4.66   |
| Nitrato de Amonio            | kg | 1289446.82 | 6.3    |
| Amoniacó (NH3)               | kg | 526986.57  | 2.58   |
| Superfosfato triple (SPT)    | kg | 561619.06  | 2.75   |
| Cloruro de Potasio (KCl)     | kg | 909102.96  | 4.45   |

| Materiales                      | UM | Cantidad |        |
|---------------------------------|----|----------|--------|
|                                 |    | Real     | Índice |
| Fertilizantes Orgánicos         |    |          |        |
| Vinazas diluidas                | m³ | 272697   | 1.33   |
| Compost                         | t  | 34087    | 0.17   |
| Consumo de Agua                 |    |          |        |
| Agua                            | m³ | 3E+07    | 166.67 |
| Consumo de Combustible (Diésel) |    |          |        |
| Preparación de suelos           | L  | 2E+06    | 9.68   |
| Plantación                      | L  | 651064   | 3.18   |
| Herbicidas                      | L  | 44995    | 0.22   |
| Riego                           | L  | 1E+06    | 4.9    |
| Fertilizantes                   | L  | 270038   | 1.32   |
| Corte y Cosecha                 | L  | 54608    | 0.27   |
| Entrada desde la naturaleza     |    |          |        |
| Fijación de Carbono             | t  | 13635    | 0.07   |
| Residuos Sólidos                |    |          |        |
| Paja                            | t  | 37992    | 0.19   |
| Otros Residuos                  | t  | 10764    | 0.05   |
| Salida a la Tecnósfera          |    |          |        |
| Caña de Azúcar                  | t  | 204523   | 1      |

**Anexo No. 12:** Datos de entrada y salida de la Producción de Melaza. **Fuente:** Elaboración Propia.

| Materiales                       | UM  | Cantidad   |        |
|----------------------------------|-----|------------|--------|
|                                  |     | Real       | Indice |
| Entradas desde la Tecnósfera     |     |            |        |
| Caña de azúcar                   | t   | 204522.60  | 23.17  |
| Óxido de Calcio (CaO)            | kg  | 143165.82  | 16.22  |
| Agua de Imbibición               | t   | 40904.52   | 4.63   |
| Azúcar de caña                   | kg  | 484.44     | 0.05   |
| Etanol de caña                   | kg  | 1257.73    | 0.14   |
| Electricidad/Calor               |     |            |        |
| Energía Consumida                | kWh | 7248280.94 | 821.2  |
| Energía Aportada                 | kWh | 1094195.91 | 123.96 |
| Vapor de biomasa                 | t   | 329217.90  | 37.30  |
| Emisiones al Agua                |     |            |        |
| Residuales líquidos              | m³  | 1025.09    | 0.12   |
| Demanda Biológica de Oxígeno DBO | kg  | 6632.39    | 0.75   |
| Demanda Química de Oxígeno DQO   | kg  | 14638.42   | 1.66   |
| Dióxido de Nitrógeno (NO₂)       | g   | 2573.00    | 0.29   |
| Ión amonio (NH₄)                 | g   | 1168.61    | 0.13   |
| Emisiones al Aire                |     |            |        |
| Dióxido de Carbono               | t   | 10018.34   | 1.14   |
| Bagacillo                        | t   | 36990.78   | 4.19   |
| Flujos finales de residuos       |     |            |        |
| Cachaza                          | t   | 5624.37    | 0.64   |
| Salida a la Tecnósfera           |     |            |        |
| Melaza (miel final)              | t   | 8826.72    | 1      |
| Azúcar de caña                   | t   | 19247.65   | 2.18   |
| Bagazo                           | t   | 77064.12   | 8.73   |

**Anexo No. 13:** Datos de entrada y salida de la Elaboración de Etanol. **Fuente:** Elaboración Propia.

| Materiales                                        | UM             | Cantidad |        |
|---------------------------------------------------|----------------|----------|--------|
|                                                   |                | Real     | Índice |
| Entradas desde la Tecnósfera                      |                |          |        |
| Melaza (miel final o miel B)                      | t              | 353      | 5.16   |
| Aire Comprimido                                   | t              | 21.60    | 0.32   |
| Levadura Seca Activa                              | kg             | 0.87     | 0.013  |
| Antiespumante                                     | kg             | 100      | 1.46   |
| Acido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | kg             | 2842     | 41.56  |
| Sulfato de Amonio                                 | kg             | 113.22   | 1.66   |
| Fosfato de Amonio                                 | kg             | 113.22   | 1.66   |
| Urea                                              | kg             | 600      | 8.77   |
| Acido Clorhídrico (HCl)                           | kg             | 100      | 1.46   |
| Consumo de Agua                                   |                |          |        |
| Agua                                              | m <sup>3</sup> | 1750     | 25.59  |
| Consumo de Combustible (Crudo)                    |                |          |        |
| Crudo Cubano                                      | t              | 26.82    | 0.39   |
| Electricidad/Calor                                |                |          |        |
| Vapor de Crudo Cubano                             | t              | 390.31   | 5.71   |
| Salidas Producto evitado                          |                |          |        |
| Dióxido de Carbono                                | t              | 60       | 0.88   |
| Residuos Líquidos                                 |                |          |        |
| Vinazas                                           | t              | 1141.37  | 16.69  |
| Salida a la Tecnósfera                            |                |          |        |
| Etanol de Caña (con vapor de crudo)               | t              | 68.38    | 1      |

**Anexo No. 14:** Características de las materias primas utilizadas en la elaboración de etanol.

**Fuente:** (Ramos León, 2008)

**Miel Final**

|          |       |       |
|----------|-------|-------|
| pH       | 5,7   | unid. |
| OBx      | 86    |       |
| ART      | 58    | %     |
| ARL      | 20    | %     |
| ARinf.   | 3,78  | %     |
| Ac.vol.  | 0.462 | %     |
| Sacarosa | 36,21 | %     |
| AT       | 0,486 | %     |
| Ceniza   | 8,53  | %     |

**Ácido sulfúrico**

El ácido sulfúrico proviene de la rayonera de Matanzas, es comercial y tiene las siguientes características:

|          |      |       |
|----------|------|-------|
| Densidad | 1.98 | g / l |
| Pureza   | 96   | %     |
| Hierro   | 300  | ppm.  |

**Nutrientes**

Ambos nutrientes, sulfato de amonio y fosfato de amonio son de importación y los mismos deben aportar 0,5 Kg de N/HL de alcohol producido.

Sulfato de Amonio:  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$

N = 22 %

S = 48 %

O = 24 %

H = 6 %

Fosfato de Amonio  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$

N = 26,7 %

P = 25 %

O = 40,7 %

H = 7,6 %

**Agua**

El agua que se utiliza en la destilería es de pozo y los mismos están situados a 1 Km del sitio donde se construyeron la misma en dirección sur - suroeste.

**Anexo No. 14:** Características de las materias primas utilizadas en la elaboración de etanol.

(Continuación)

Las características fundamentales son:

|                    |               |      |
|--------------------|---------------|------|
| Conductividad      | mmhos/cm      | 589  |
| NO3                | mg/l          | 5    |
| CO3H               | mg/l          | 326  |
| Alcalinidad        | ( mg/l CaCO3) | 268  |
| Cl                 | mg/l          | 27   |
| SO4                | mg/l          | 20   |
| Ca                 | mg/l          | 107  |
| Mg                 | mg/l          | 7    |
| Na                 | mg/l          | 15   |
| N02                | mg/l          | 0.25 |
| Sales Sol. Totales | mg/l          | 507  |
| DQO                | mg/l          | 1    |
| DBO 5              | mg/l          | 1    |
| Color              | U             | < 5  |
| Turbidez           | U             | < 5  |
| Dureza total       |               | 305  |

**Formol**

Se utiliza como desinfectante. Se usa una solución al 40 % de formaldehído. Este producto es de importación. Se almacena en tanques de acero de 55 galones en cuarto almacenes.

**Petróleo**

El petróleo procede de diferentes refinerías del país a través de la distribuidora CUPET de Cienfuegos.

Las características fundamentales son:

|                      |           |                    |
|----------------------|-----------|--------------------|
| V.C.S                | 10 200    | Kcal / Kg          |
| V.C.I                | 9 600     | Kcal / Kg          |
| $\rho$               | 0.99 - 1  | t / m <sup>3</sup> |
| °API                 | 11 - 18   |                    |
| $\mu$ a 60°C         | 200 - 600 | c.s.t              |
| Punto de Inflamación | 90 - 100  | °C                 |
| Azufre               | 4 -8      | %                  |
| Hidrógeno            | 11,5      | %                  |
| Agua                 | 0,5       | %                  |
| Carbono              | 86        | %                  |
| Carbono Conradson    | 8         | %                  |

**Electricidad**

La electricidad proviene del sistema electro-energético nacional utilizando las instalaciones de la fábrica de Torula, las cuales están sobredimensionadas.

Las características fundamentales son:

|                    |     |                  |
|--------------------|-----|------------------|
| Voltaje            | 440 | volt (Trifásico) |
| Potencia Instalada | 290 | Kw               |
| Demanda Máxima     | 240 | Kw               |
| Factor de Potencia | 0,9 |                  |

**Anexo No. 14:** Características de las materias primas utilizadas en la elaboración de etanol.

(Continuación)

Se prevee la instalación de 125 m de línea eléctrica.

**Antiespumante.**

Se usa Glanapón DG-130 el cual tiene la siguiente composición: mezclas de ácidos grasos y ésteres poliglicónicos.

Características:

|                 |                                            |
|-----------------|--------------------------------------------|
| Apariencia      | Líquido claro ligeramente pardo no iónico. |
| $\rho$ 20 °C    | 0,99 - 1,02 g / cm <sup>3</sup>            |
| pH diluido 1/10 | 7 - 8                                      |
| $\mu$ 20 °C     | 240 - 270 csp                              |

Se recomienda que este producto sea almacenado en cuarto almacén.

**Levadura Seca activa**

Se utiliza Levadura Seca Activa del género *Sacharomyces cerevisiae*. Se utiliza una pequeña cantidad de la levadura la cual se propaga en condiciones de laboratorio y se envía a los prefermentadores a levadura es almacenada en lugar seco.

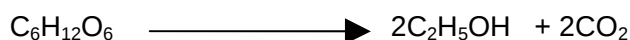
La cual tiene las siguientes características:

|                                |      |
|--------------------------------|------|
|                                | %    |
| Polisacáridos                  | 34,1 |
| Trehalosa                      | 5,0  |
| Ácidos Nucleicos y Nucleótidos | 10,8 |
| Fosfolípidos                   | 4,5  |
| Triglicéridos                  | 2,5  |
| Esteroles                      | 1,0  |
| Ceniza                         | 3,1  |
| Proteína                       | 39,0 |

**Productos Intermedios**

**Dióxido de Carbono**

Es un producto que se obtiene durante el proceso de fermentación de alcohol según la reacción:



Se producen 68 Kg de CO<sub>2</sub> por cada HL de alcohol producido lo que equivale a 60 t/d. Este producto intermedio contamina la atmósfera, su acumulación provoca el efecto invernadero, problema que no tiene soluciones locales económicas.

Sus características son:

|                                   |        |      |
|-----------------------------------|--------|------|
| Punto de sublimación normal       | 78,5   | °C   |
| Punto Triple a 5,11 atm           | 56,6   | °C   |
| Calor latente de vaporización     | 347,44 | °C   |
| Densidad (g) a 0°C y 1 atm        | 1,976  | g/L  |
| Densidad (l) a 0°C y 34,3 atm     | 0,914  | Kg/L |
| Solubilidad en agua a 0°C y 1 atm | 1,713  | v/v  |

**Anexo No. 14:** Características de las materias primas utilizadas en la elaboración de etanol.  
(Continuación)

|  |                    |        |        |
|--|--------------------|--------|--------|
|  | Calor de formación | 388,86 | Kj/mol |
|--|--------------------|--------|--------|

**Aceite Fusel**

Es un producto intermedio de la etapa de destilación y se forma en la etapa de fermentación. Su composición media es la siguiente:

|                                  |      |   |
|----------------------------------|------|---|
| Alcohol n- propílico             | 24,3 | % |
| Alcohol isopropílico             | 0,6  | % |
| Alcohol isobutílico              | 7,4  | % |
| Alcohol n- butílico              | 8,1  | % |
| Alcohol n- amílico               | 4,3  | % |
| Alcohol isoamílico y n - amílico | 55,3 | % |

Puede contener ésteres y aldehídos.

Su producción se reporta de 0,0015 a 0,003 L / t de alcohol producido.

Estas sustancias son impurezas que representan en general, todas reunidas, menos de 1 %, y lo más a menudo hasta el 0,5 % de alcohol.

Este producto tiene diferentes usos dentro de la industria química y la tecnología prevé la recuperación del mismo por lo que no tendrá ningún efecto negativo sobre el medio ambiente.

**Producto Final**

**Alcohol Extrafino**

Características

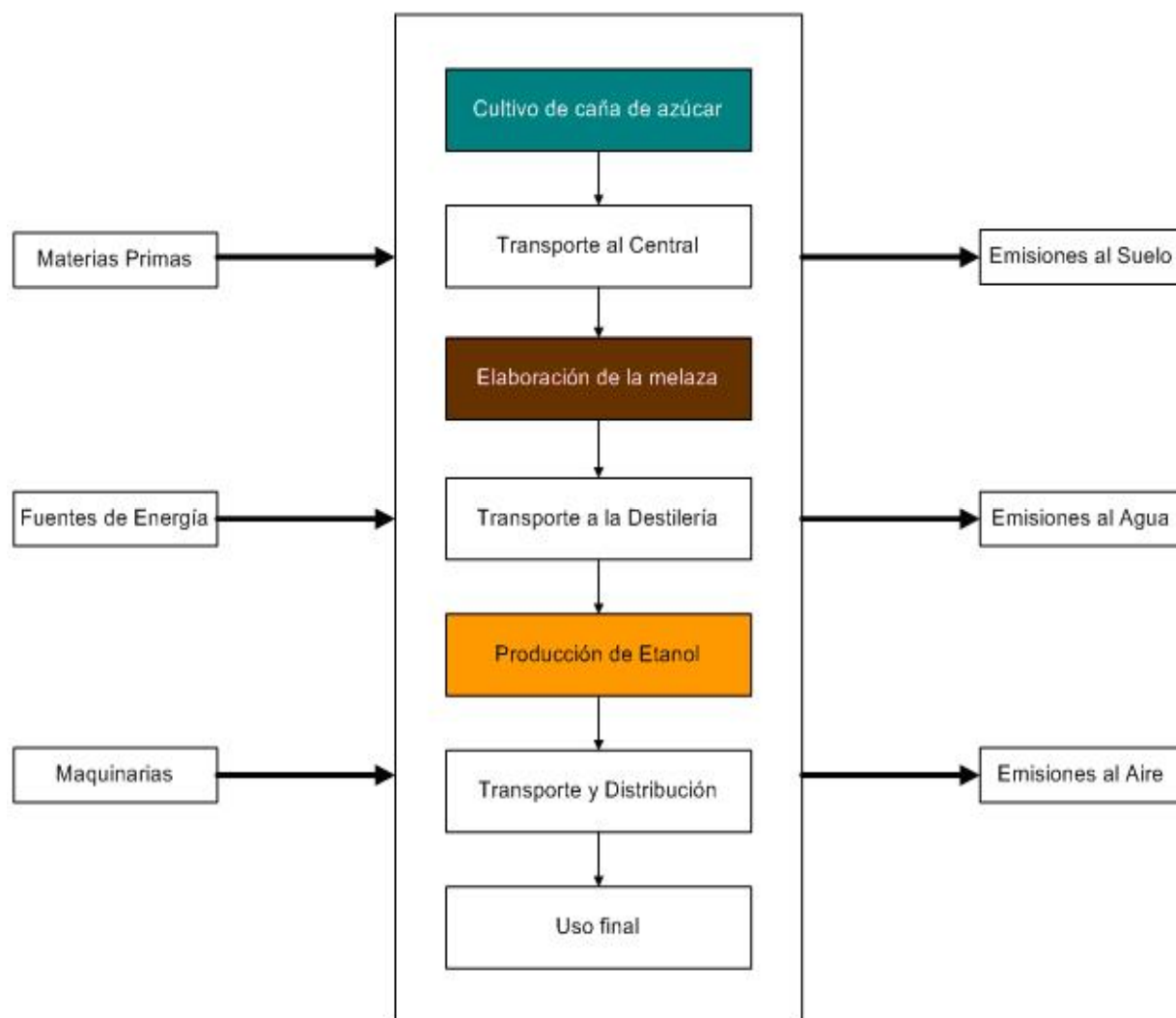
|                                 |              |                      |
|---------------------------------|--------------|----------------------|
| Grado                           | 96,3         | °GL                  |
| <b>Pureza</b>                   | <b>99,99</b> | <b>%</b>             |
| t permanganato                  | 40           | min                  |
| Acidez Total                    | 10           | mg / L alcohol puro. |
| Aldehído como acetaldehído 5    |              | mg / L alcohol puro. |
| Alcoholes superiores            | 4            | mg / L alcohol puro. |
| Esteres como acetato de etilo20 |              | mg /L alcohol puro.  |

**Anexo No. 15:** Inventario del Ciclo de Vida del etanol de caña. **Fuente:** Elaboración Propia.

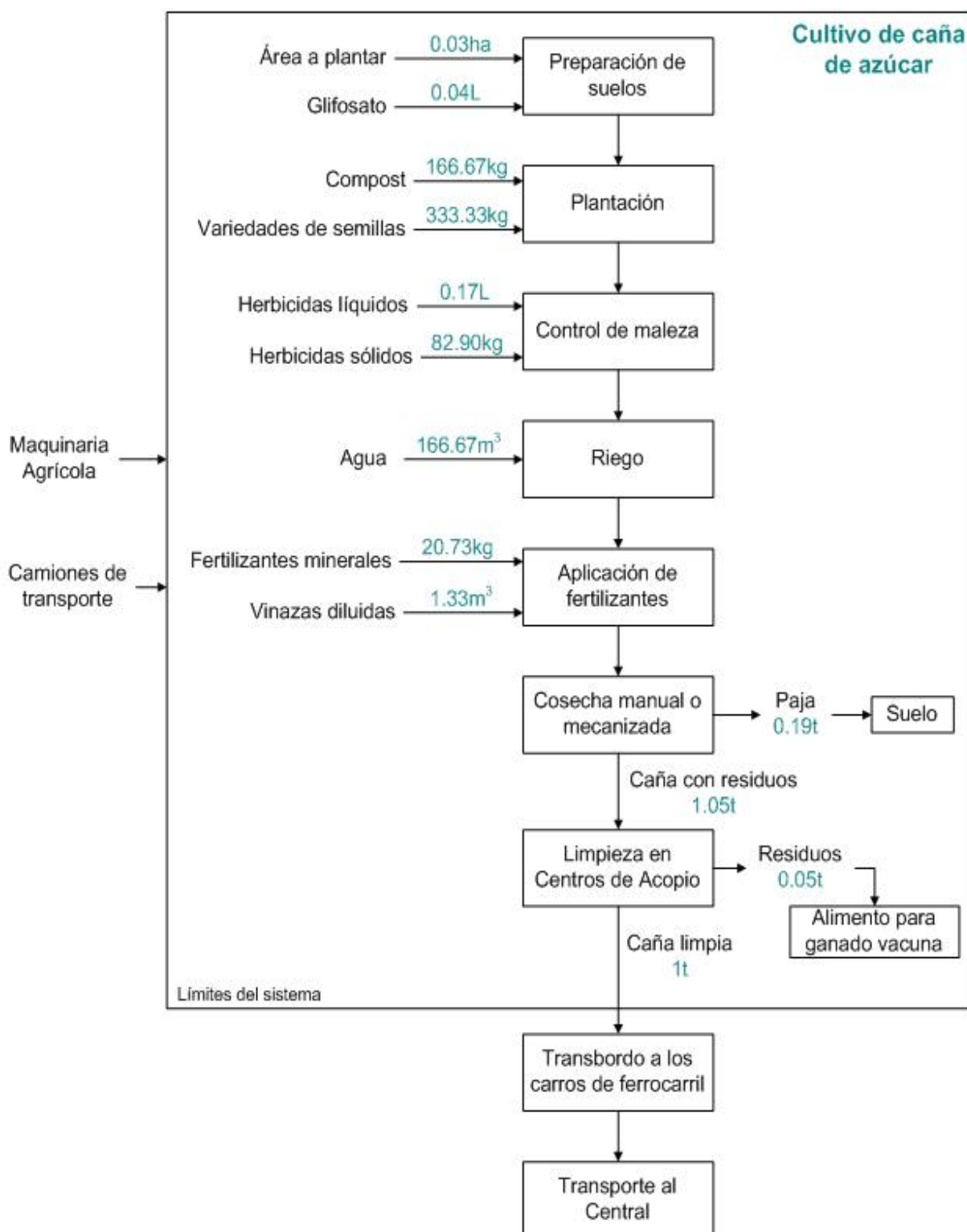
| No. | Producto                                | UM             | Total    | No. | Producto                            | UM             | Total   |
|-----|-----------------------------------------|----------------|----------|-----|-------------------------------------|----------------|---------|
| 1   | Acidificantes                           | L              | 0.36     | 27  | Energía (vapor de bagazo)           | kWh            | 4237.39 |
| 2   | Ácido Clorhídrico                       | kg             | 1.46     | 28  | Envoke                              | kg             | 0.03    |
| 3   | Ácido Sulfúrico                         | kg             | 41.56    | 29  | Esterol                             | L              | 4.3     |
| 4   | Agua                                    | m <sup>3</sup> | 19927.90 | 30  | Etanol de caña (con vapor de crudo) | t              | 1       |
| 5   | Agua de Imbibición                      | t              | 23.91    | 31  | Finale                              | L              | 2.63    |
| 6   | Aire Comprimido                         | t              | 0.32     | 32  | Fosfato de Amonio                   | kg             | 1.66    |
| 7   | Ametrina                                | kg             | 4.42     | 33  | Glifosato                           | L              | 5.26    |
| 8   | Amigan                                  | kg             | 0.72     | 34  | Hexazinona                          | L              | 1.08    |
| 9   | Amoniaco (NH <sub>3</sub> )             | kg             | 308.07   | 35  | Ión amonio (NH <sub>4</sub> )       | g              | 0.68    |
| 10  | Antiespumante                           | kg             | 1.46     | 36  | Levadura Seca                       | kg             | 0.013   |
| 11  | Asulam                                  | L              | 2.19     | 37  | Melaza (miel final)                 | t              | 5.16    |
| 12  | Azúcar de caña                          | kg             | 0.28     | 38  | Merlin                              | kg             | 0.36    |
| 13  | Bagacillo                               | t              | 21.62    | 39  | MSMA                                | L              | 5.5     |
| 14  | Bagazo                                  | t              | 45.05    | 40  | Nitrato de amonio                   | kg             | 753.8   |
| 15  | Caña de azúcar                          | t              | 119.61   | 41  | Óxido de Calcio (CaO)               | kg             | 83.69   |
| 16  | Cloruro de Potasio (KCl)                | kg             | 531.45   | 42  | Residuales líquidos                 | m <sup>3</sup> | 0.59    |
| 17  | Compost                                 | t              | 19.93    | 43  | Residuos Sólidos                    | t              | 31.79   |
| 18  | Crudo Cubano                            | t              | 0.39     | 44  | Sal de Amina                        | L              | 3.95    |
| 19  | Demanda Biológica de Oxígeno DBO        | kg             | 3.88     | 45  | Semilla de caña                     | t              | 39.85   |
| 20  | Demanda Química de Oxígeno DQO          | kg             | 8.56     | 46  | Suelo                               | ha             | 3.99    |
| 21  | Diésel                                  | kg             | 1309.51  | 47  | Sulfato de Amonio                   | kg             | 1.66    |
| 22  | Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )    | t              | 47.82    | 48  | Superfosfato triple (SPT)           | kg             | 328.32  |
| 23  | Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )   | t              | 1076.86  | 49  | Urea                                | kg             | 565.93  |
| 24  | Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) | g              | 1.50     | 50  | Vapor de biomasa                    | t              | 192.46  |
| 25  | Diurón                                  | kg             | 3.63     | 51  | Vapor de crudo                      | t              | 5.71    |
| 26  | Doblete                                 | kg             | 0.76     | 52  | Vinazas diluidas                    | m <sup>3</sup> | 159.42  |

**Anexo No. 16:** Representación del Ciclo de Vida del etanol de caña.

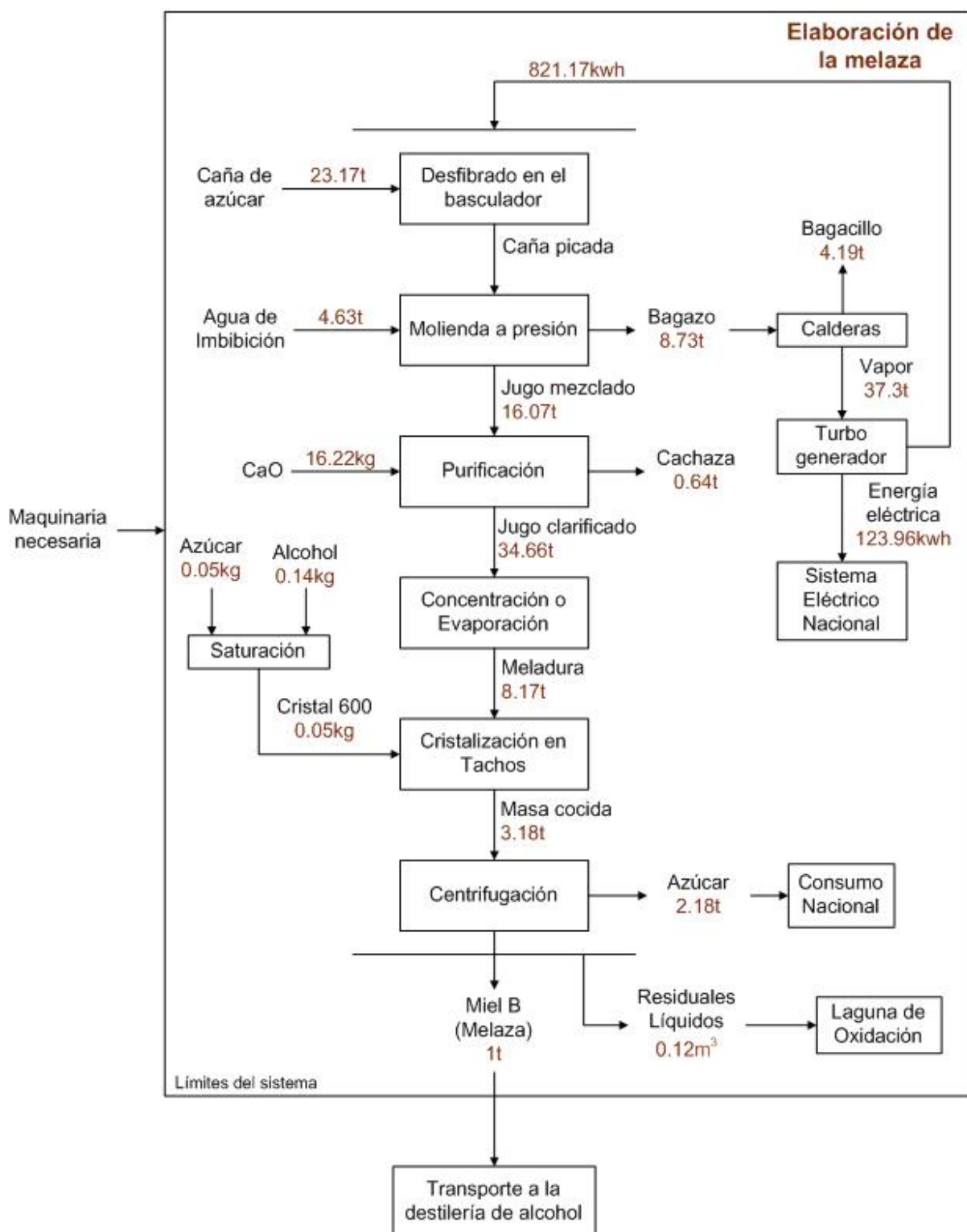
**Fuente:** Elaboración Propia.

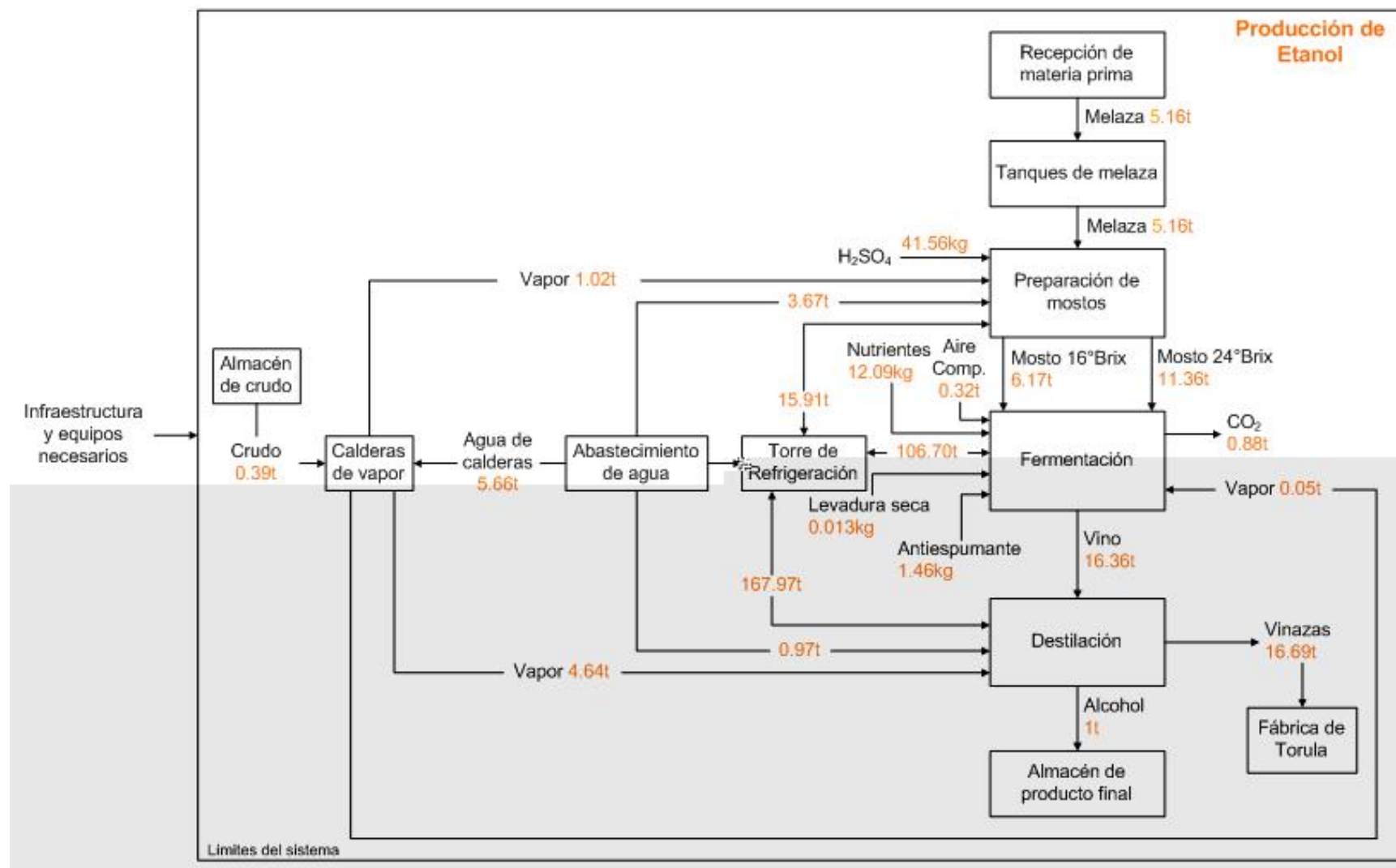


**Anexo No. 17:** Diagrama del Cultivo de la Caña de Azúcar. **Fuente:** Elaboración Propia.



**Anexo No. 18:** Diagrama de la Elaboración de Melaza o Miel B. **Fuente:** Elaboración Propia.

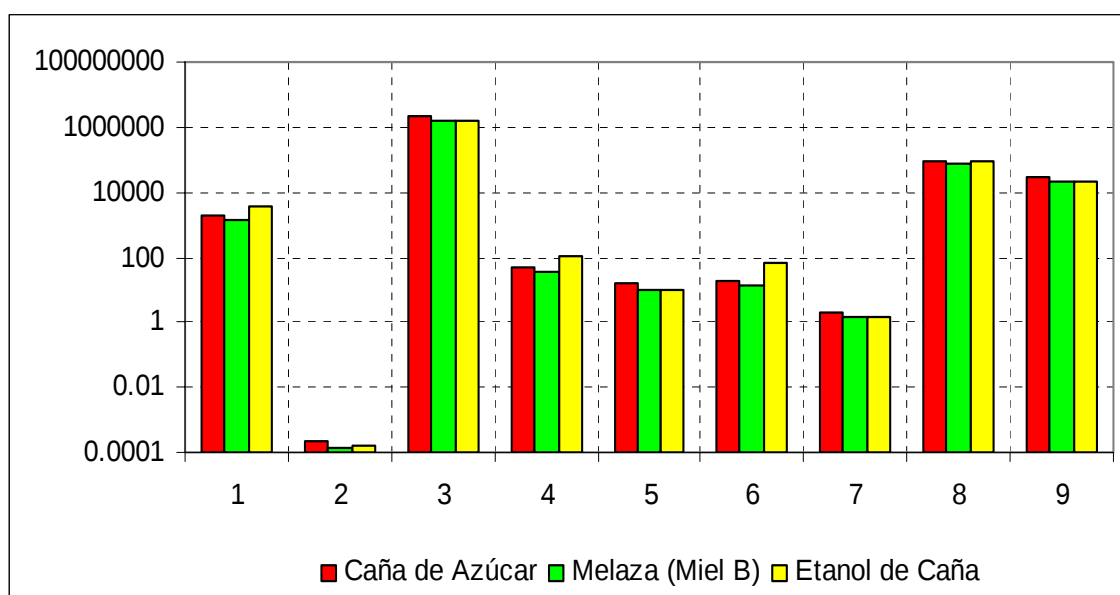




**Anexo No. 20:** Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método CML.

**Fuente:** Elaboración Propia.

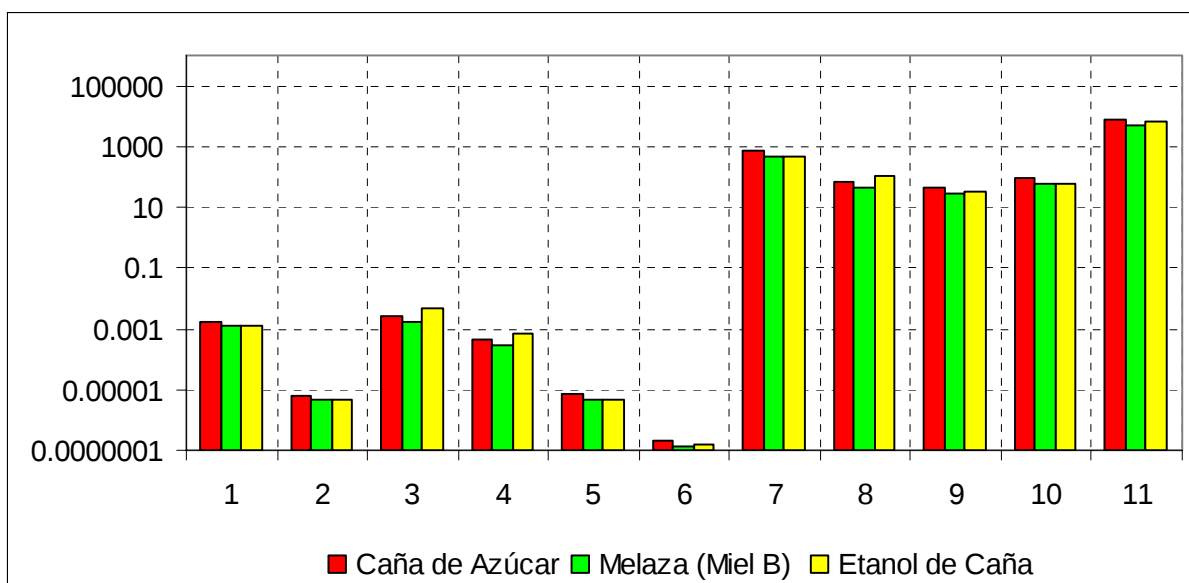
| No. | Categoría de impacto | Unidad      | Caña de Azúcar | Melaza (Miel B) | Etanol de Caña |
|-----|----------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1   | Invernadero          | kg GWP      | 1968.3944      | 1350.5073       | 3502.106       |
| 2   | Capa de ozono        | kg ODP      | 0.000207574    | 0.000142988     | 0.000149081    |
| 3   | Eco-toxicidad        | EC          | 2322785.6      | 1593132.3       | 1608625.4      |
| 4   | Toxicidad humana     | HC          | 51.151458      | 35.080829       | 101.60903      |
| 5   | Eutroficación        | kg NP       | 14.804367      | 10.280466       | 10.388288      |
| 6   | Acidificación        | kg AP       | 19.43272       | 13.329199       | 68.460341      |
| 7   | Smog                 | kg POCP     | 2.0383146      | 1.3981294       | 1.4059878      |
| 8   | Recursos energéticos | MJ LHV      | 95533.296      | 75973.798       | 94673.294      |
| 9   | Residuos sólidos     | kg residuos | 28713          | 21952.099       | 21952.099      |



**Anexo No. 21:** Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método Eco-indicador.

**Fuente:** Elaboración Propia.

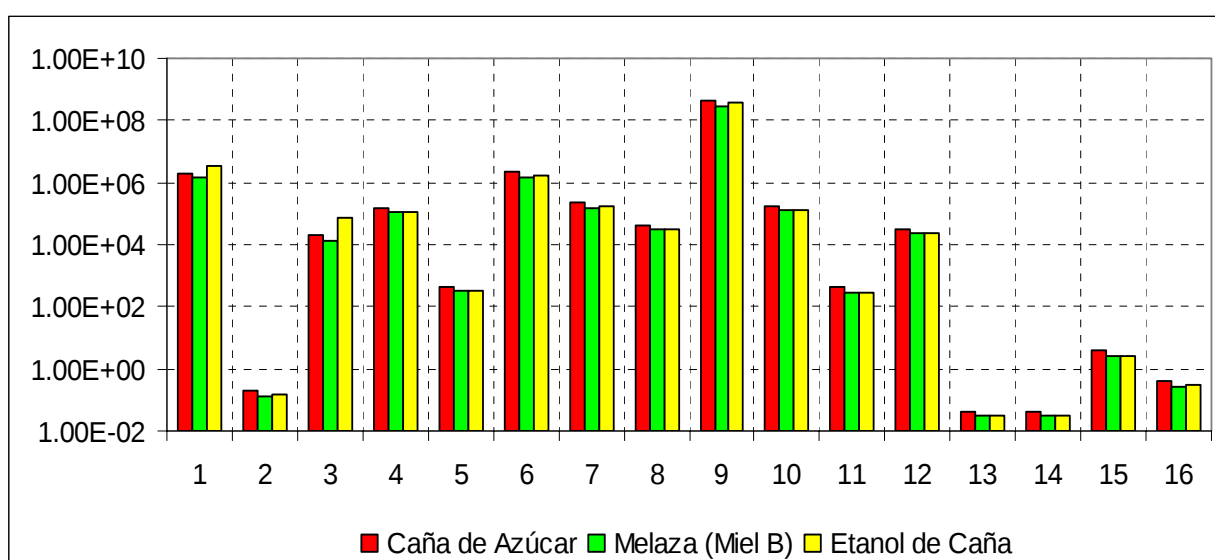
| No. | Categoría de impacto        | Unidad       | Caña de Azúcar | Melaza (Miel B) | Etanol de Caña |
|-----|-----------------------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1   | Efectos Carcinogénicos      | DALY         | 0.001738684    | 0.00119225      | 0.001205348    |
| 2   | Respiración de orgánicos    | DALY         | 6.40E-06       | 4.39E-06        | 4.41E-06       |
| 3   | Respiración de inorgánicos  | DALY         | 0.002452791    | 0.001682256     | 0.004709706    |
| 4   | Cambio climático            | DALY         | 0.000421275    | 0.000289034     | 0.000741067    |
| 5   | Radiación                   | DALY         | 6.73E-06       | 4.62E-06        | 4.74E-06       |
| 6   | Capa de ozono               | DALY         | 2.04E-07       | 1.41E-07        | 1.48E-07       |
| 7   | Eco-toxicidad               | PAF*m2yr     | 700.96233      | 480.85839       | 492.70876      |
| 8   | Acidificación/Eutroficación | PDF*m2yr     | 64.021413      | 43.915436       | 102.00174      |
| 9   | Uso de la tierra            | PDF*m2yr     | 44.363612      | 30.450213       | 30.978842      |
| 10  | Minerales                   | MJ excedente | 86.480936      | 59.301476       | 60.878385      |
| 11  | Combustibles fósiles        | MJ excedente | 7451.4019      | 5109.5267       | 6569.8555      |



**Anexo No. 22:** Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método Edip.

**Fuente:** Elaboración Propia.

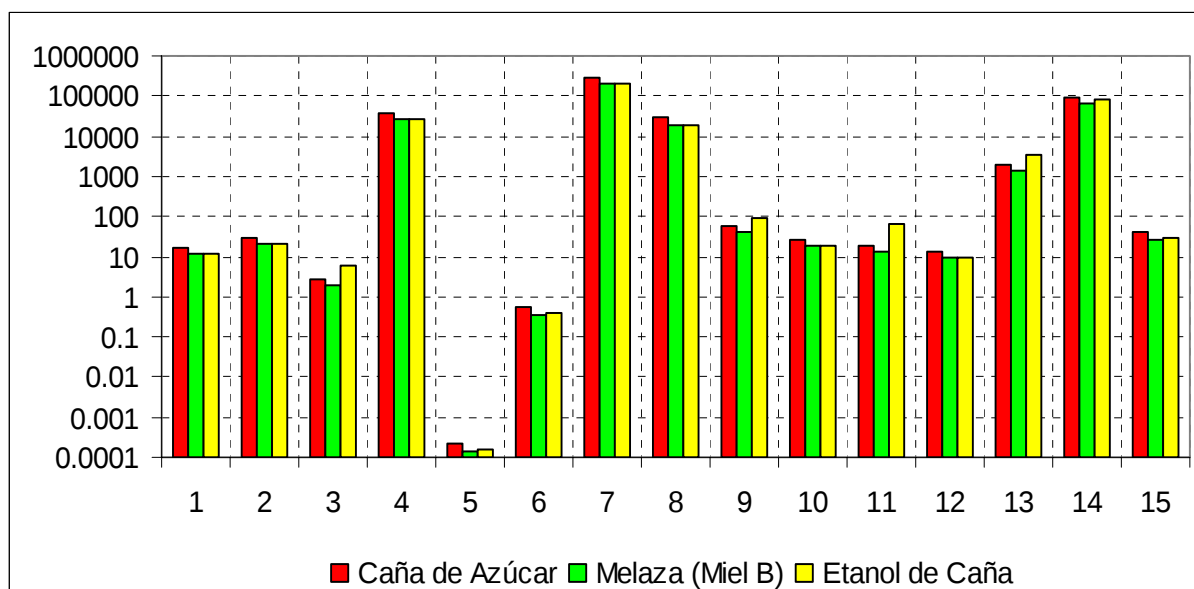
| No. | Categoría de impacto            | Unidad            | Caña de Azúcar | Melaza (Miel B) | Etanol de Caña |
|-----|---------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1   | Calentamiento global (GWP 100)  | g CO <sub>2</sub> | 2.03E+06       | 1.40E+06        | 3.55E+06       |
| 2   | Agotamiento del Ozono           | g CFC11           | 0.19435588     | 0.13377502      | 0.14004782     |
| 3   | Acidificación                   | g SO <sub>2</sub> | 19449.689      | 13340.836       | 68472.535      |
| 4   | Eutroficación                   | g NO <sub>3</sub> | 1.54E+05       | 1.05E+05        | 1.07E+05       |
| 5   | Smog fotoquímico                | g ethene          | 4.61E+02       | 3.17E+02        | 3.26E+02       |
| 6   | Eco-toxicidad crónica del agua  | m <sub>3</sub>    | 2274890.4      | 1560865.4       | 1586664.7      |
| 7   | Eco-toxicidad intensa del agua  | m <sub>3</sub>    | 232860.07      | 159768.99       | 162403.87      |
| 8   | Eco-toxicidad crónica del suelo | m <sub>3</sub>    | 42886.146      | 29408.3         | 30281.162      |
| 9   | Toxicidad humana (aire)         | m <sub>3</sub>    | 4.21E+08       | 2.89E+08        | 3.68E+08       |
| 10  | Toxicidad humana (agua)         | m <sub>3</sub>    | 185264.46      | 127058.72       | 128230.85      |
| 11  | Toxicidad humana (suelo)        | m <sub>3</sub>    | 429.4312       | 294.53475       | 301.18801      |
| 12  | Masa de residuos                | kg                | 31280.468      | 23712.464       | 23714.692      |
| 13  | Residuos peligrosos             | kg                | 0.043990309    | 0.030161997     | 0.03096661     |
| 14  | Residuos radiactivos            | kg                | 0.044420315    | 0.030456708     | 0.031020055    |
| 15  | Cenizas                         | kg                | 3.9590105      | 2.7144663       | 2.7203237      |
| 16  | Recursos (todos)                | kg                | 0.40258454     | 0.27606163      | 0.29778679     |



**Anexo No. 23:** Comparación de las tres fases por categorías de impacto usando el Método Impact 2002+.

**Fuente:** Elaboración Propia.

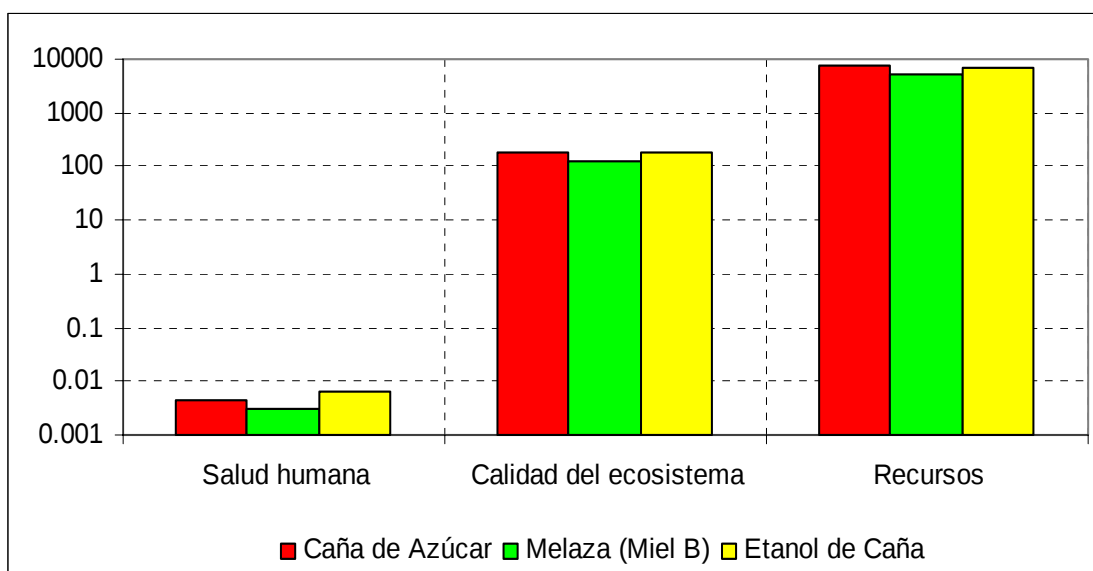
| No. | Categoría de impacto          | Unidad       | Caña de Azúcar | Melaza (Miel B) | Etanol de Caña |
|-----|-------------------------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1   | Efectos Carcinogénicos        | kg C2H3Cl    | 16.842273      | 11.549031       | 11.933376      |
| 2   | Efectos No-Carcinogénicos     | kg C2H3Cl    | 29.765495      | 20.415275       | 20.723459      |
| 3   | Respiración de inorgánicos    | kg PM2.5     | 2.81E+00       | 1.93E+00        | 6.25E+00       |
| 4   | Radiación ionizante           | Bq C-14      | 3.80E+04       | 2.61E+04        | 2.67E+04       |
| 5   | Deterioro de la capa de ozono | kg CFC-11    | 0.000210041    | 0.000144547     | 0.000151284    |
| 6   | Respiración de orgánicos      | kg ethylene  | 0.53721784     | 0.36913151      | 0.37884058     |
| 7   | Eco-toxicidad acuática        | kg TEG water | 291040.05      | 200450.75       | 204869.05      |
| 8   | Eco-toxicidad terrestre       | kg TEG soil  | 2.84E+04       | 1.95E+04        | 1.99E+04       |
| 9   | Acidificación/nutri terrestre | kg SO2       | 59.065844      | 40.516907       | 96.297932      |
| 10  | Uso del suelo                 | m2org.arable | 26.085398      | 17.915104       | 18.189941      |
| 11  | Acidificación acuática        | kg SO2       | 19.450781      | 13.341601       | 68.473339      |
| 12  | Eutroficación acuática        | kg PO4 P-lim | 13.672001      | 9.5034083       | 9.5922834      |
| 13  | Calentamiento global          | kg CO2       | 1956.4327      | 1342.3008       | 3493.6369      |
| 14  | Energía no-renovable          | MJ primary   | 95214.118      | 65291.305       | 83997.787      |
| 15  | Extracción de minerales       | MJ surplus   | 40.25867       | 27.609129       | 28.326646      |



**Anexo No. 24:** Comparación de las tres fases por categorías de daño usando el Método Eco-indicador.

**Fuente:** Elaboración Propia.

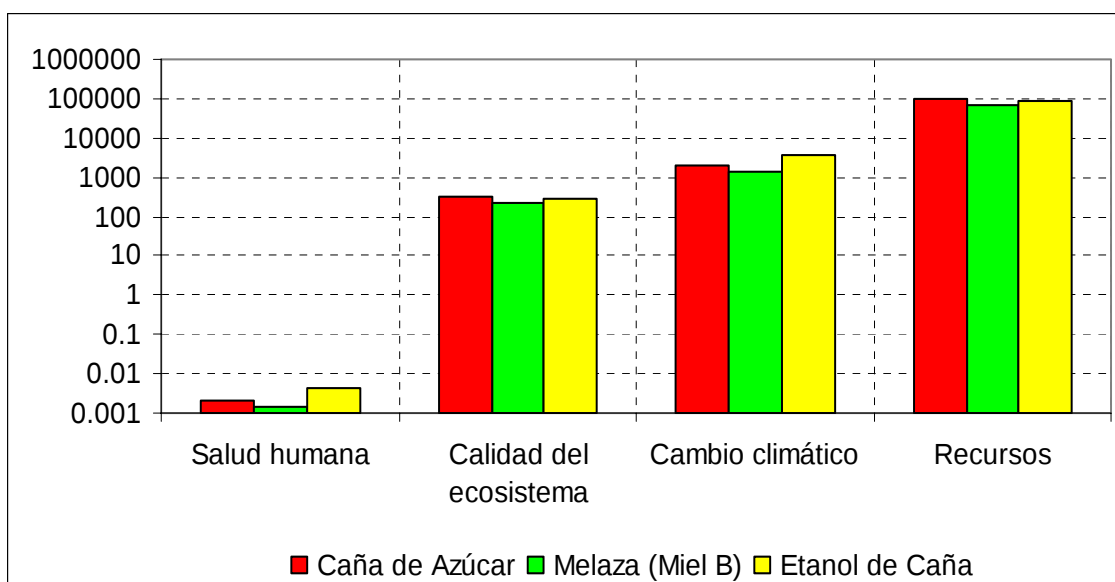
| Categoría de daño      | Unidad        | Caña de Azúcar | Melaza (Miel B) | Etanol de Caña |
|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|
| Salud humana           | DALY          | 0.004626082    | 0.003172688     | 0.006665419    |
| Calidad del ecosistema | PDF*m2yr      | 1.78E+02       | 1.22E+02        | 1.82E+02       |
| Recursos               | MJ (ganancia) | 7.54E+03       | 5.17E+03        | 6.63E+03       |



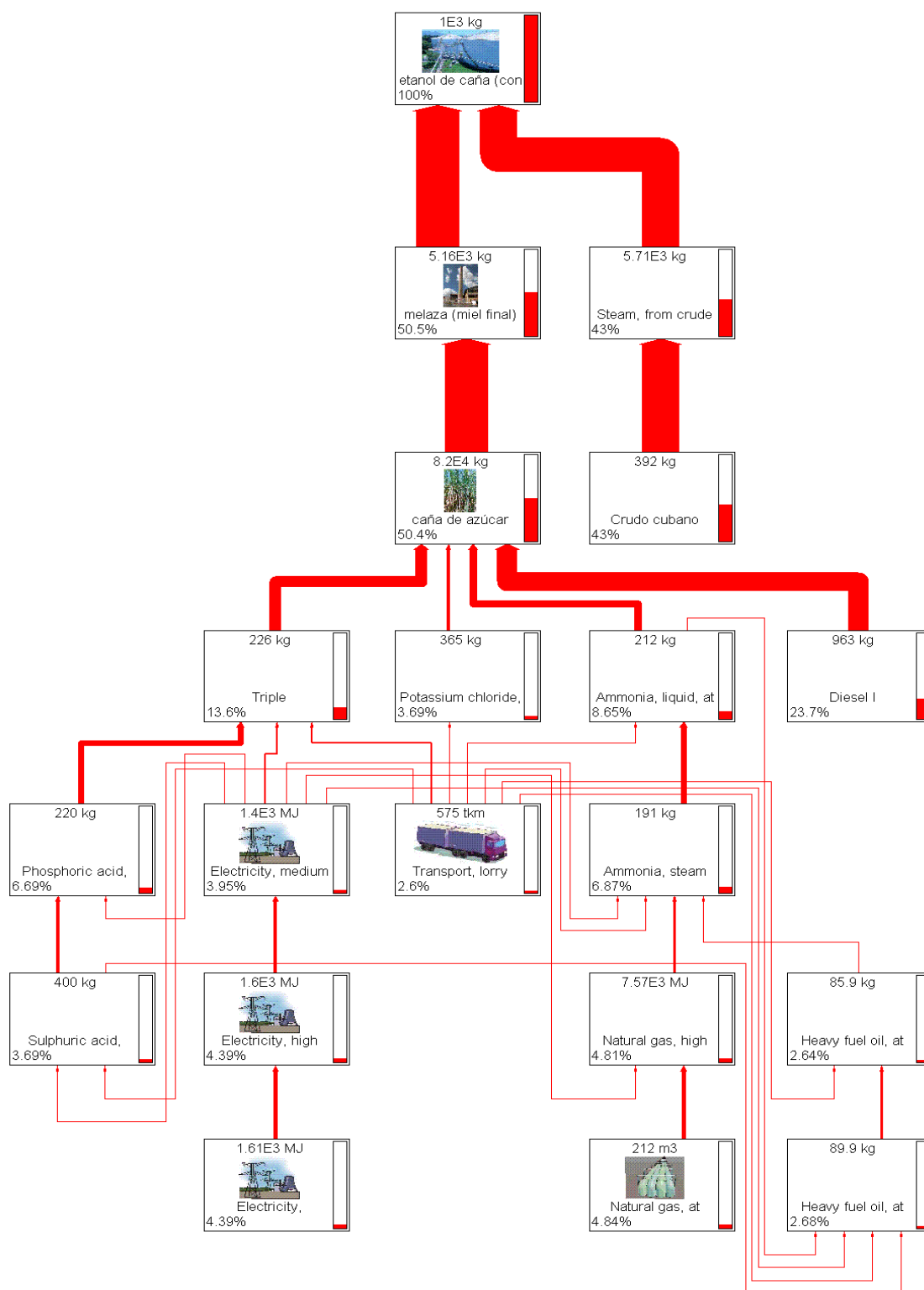
**Anexo No. 25:** Comparación de las tres fases por categorías de daño usando el Método Impact 2002+.

**Fuente:** Elaboración Propia.

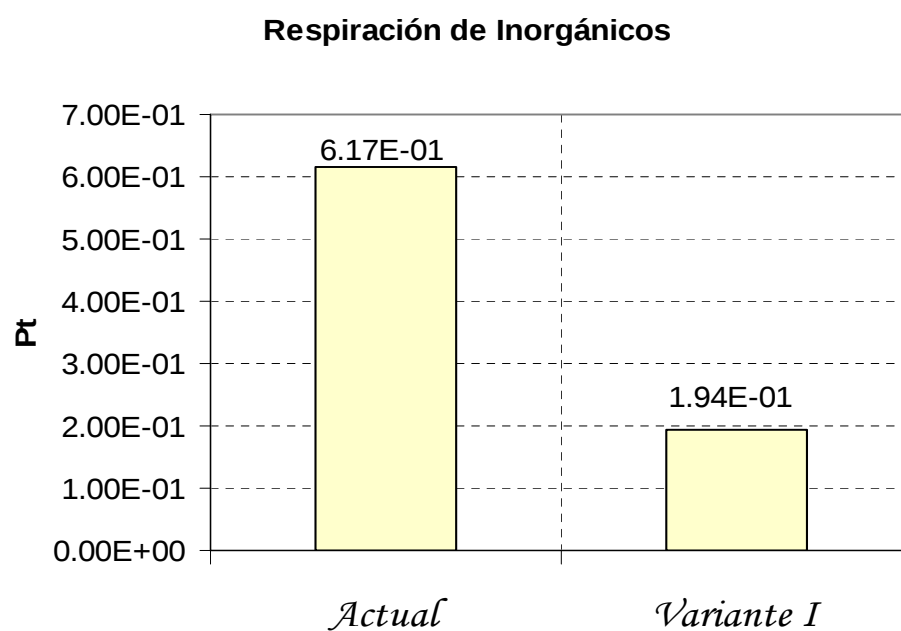
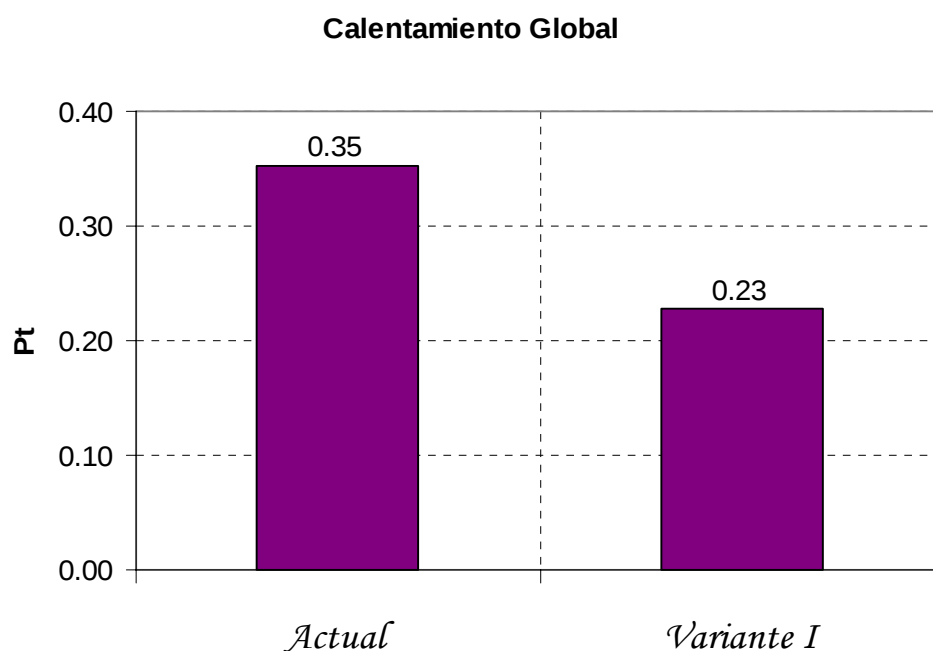
| Categoría de daño      | Unidad     | Caña de Azúcar | Melaza (Miel B) | Etanol de Caña |
|------------------------|------------|----------------|-----------------|----------------|
| Salud humana           | DALY       | 0.002109434    | 0.001446863     | 0.004471875    |
| Calidad del ecosistema | PDF*m2*yr  | 3.29E+02       | 2.26E+02        | 2.88E+02       |
| Cambio climático       | kg CO2     | 1.96E+03       | 1.34E+03        | 3.49E+03       |
| Recursos               | MJ primary | 95254.377      | 65318.914       | 84026.114      |



**Anexo No. 26:** Red de la elaboración de Etanol de Caña con el uso de vapor de la combustión de petróleo crudo cubano. **Fuente:** Elaboración Propia.

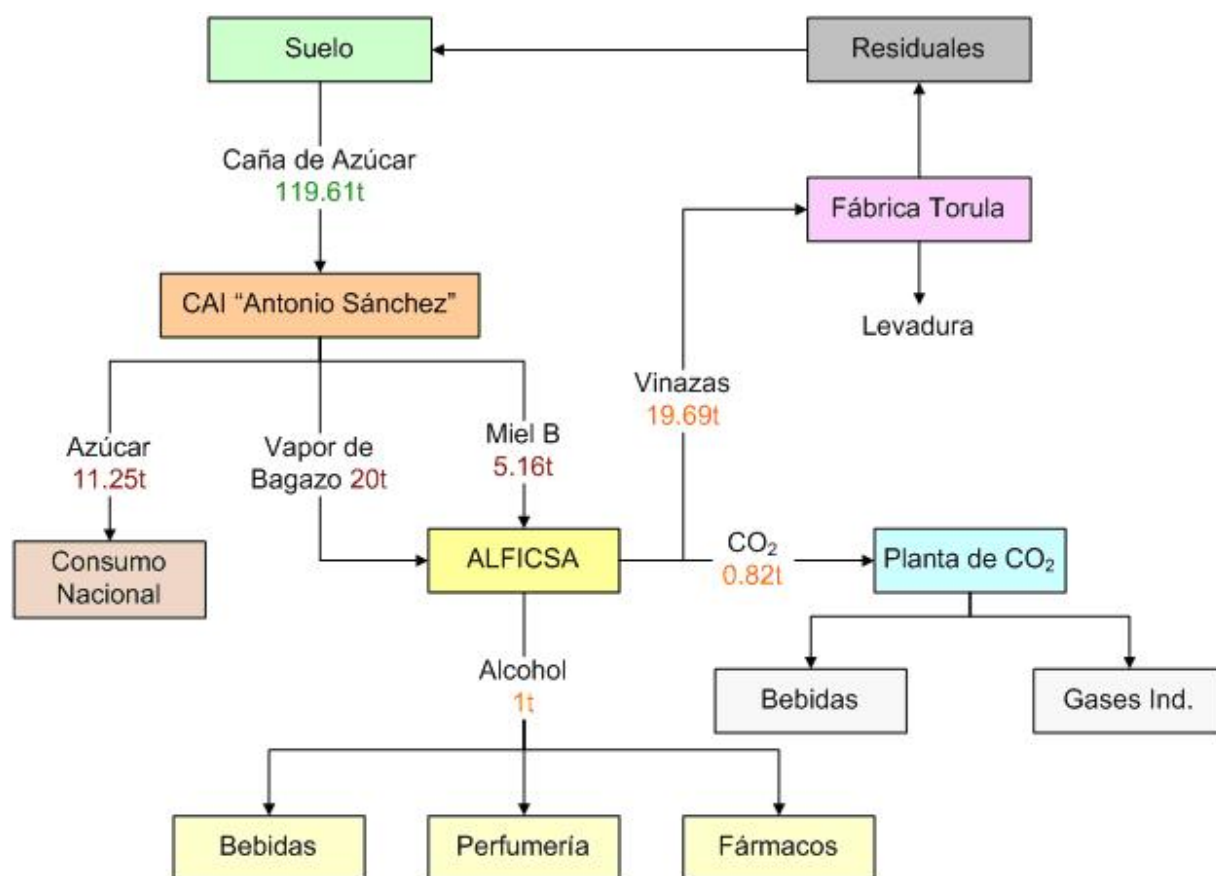


**Anexo No. 27:** Gráficos representativos de la disminución del Calentamiento Global y la Respiración de Inorgánicos con la Variante I propuesta. **Fuente:** Elaboración Propia.



**Anexo No. 28:** Ciclo de vida del Alcohol con la aplicación de las Variantes (I y II) propuestas.

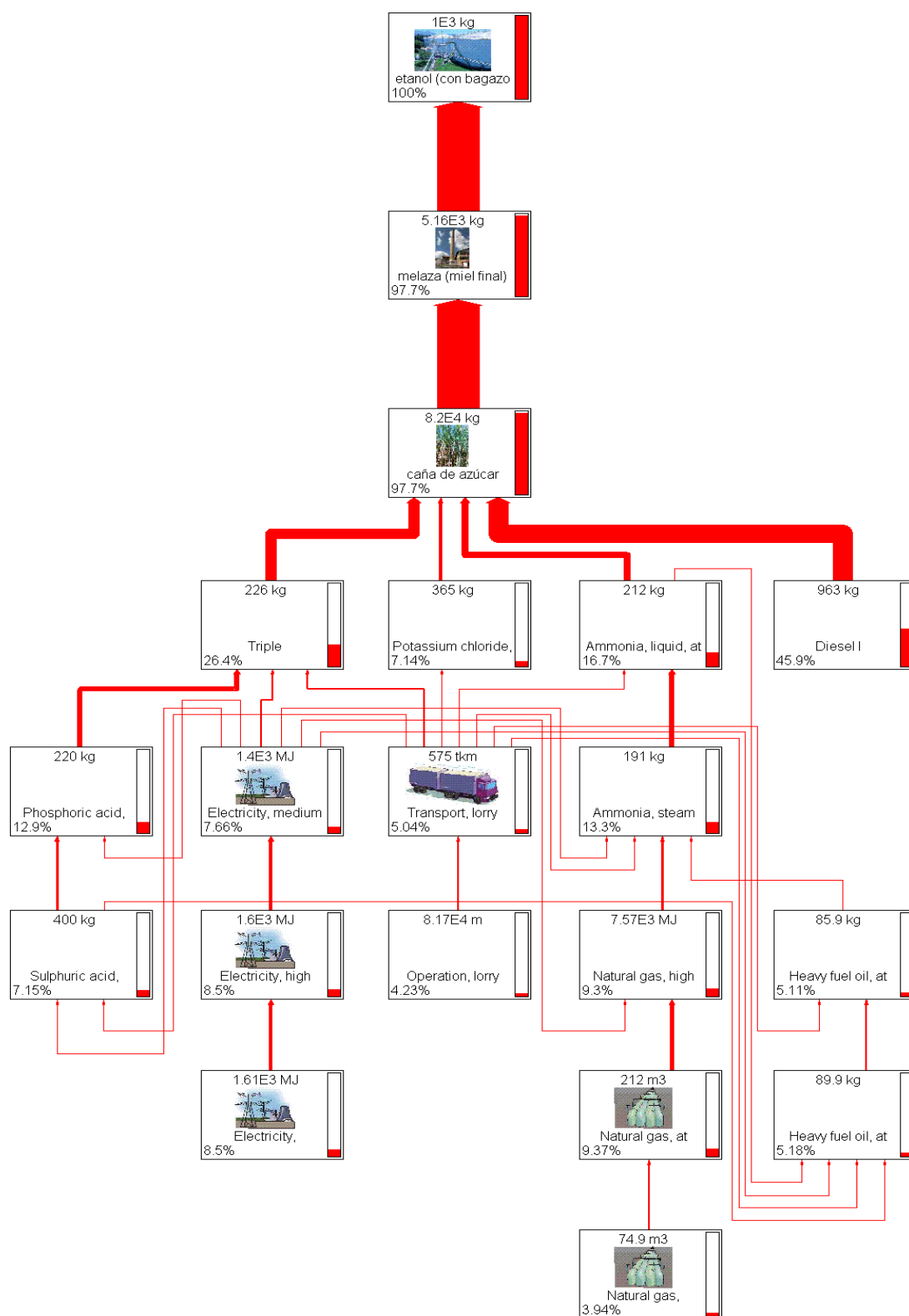
**Fuente:** Elaboración Propia.



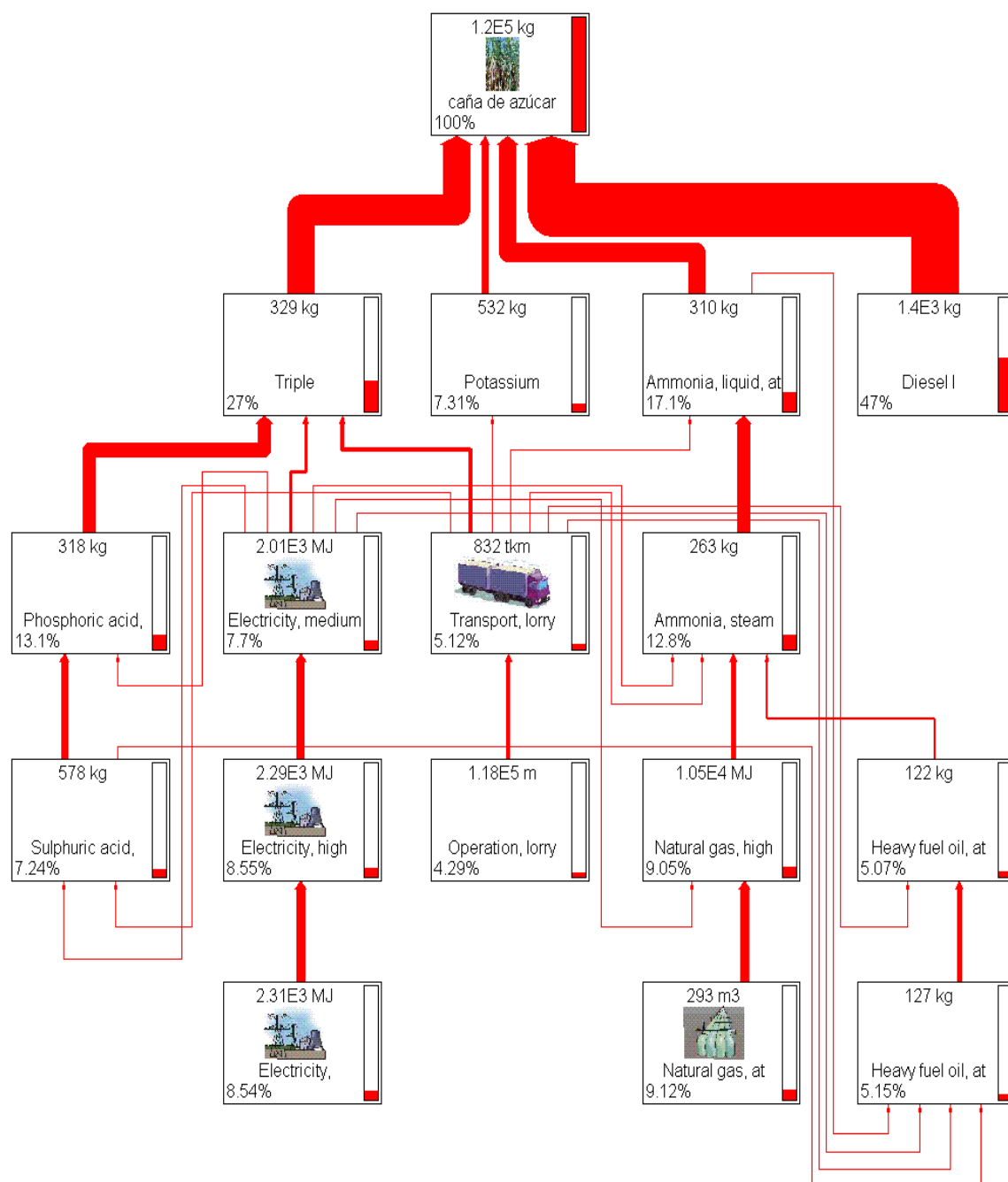
**Leyenda**

- Cultivo de la Caña de Azúcar
- Producción de Melaza o Miel B
- Elaboración de Alcohol de Caña
- Producción de Levadura Torula
- Proceso de Recuperación de CO<sub>2</sub>
- Tratamiento de los Residuales Líquidos
- Uso Final del Azúcar de Caña
- Uso Final del CO<sub>2</sub> recuperado
- Uso Final del Alcohol de Caña de Azúcar

**Anexo No. 29:** Red de la elaboración de Etanol de Caña con el uso de vapor de la combustión de bagazo. **Fuente:** Elaboración Propia.



**Anexo No. 30: Red del Cultivo de la Caña de Azúcar. Fuente: Elaboración Propia.**



**Anexo No. 31:** Medidas de mejora. **Fuente:** Elaboración Propia.

| Fases del ciclo de vida del etanol | Entradas y Salidas      | Proceso                     | Posibles Problemas Ambientales                                                                                  | Medidas de Solución                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Responsable                                  |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Cultivo de la Caña                 | Uso de Diesel           | Preparación del Suelo       | Emanaciones de gases contaminantes causantes del cambio climático y uso indiscriminado de combustibles fósiles. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Efectuar un mantenimiento sistemático y preventivo a las máquinas agrícolas empleadas.</li> <li>Evaluar la reducción de actividades innecesarias, estudiando previamente el terreno y la labor que realmente necesita para lograr un alto rendimiento de la plantación.</li> </ul>                                                                                            | Jefe de la UBPC encargada de esta actividad. |
|                                    | Fertilizantes Minerales | Aplicación de fertilizantes | Emisiones atmosféricas de amoníaco (NH <sub>3</sub> ), monóxido de carbono (CO) y otras partículas.             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación sobre cantidad necesaria y posible impacto en un laboratorio antes de su aplicación.</li> <li>Aplicar las dosis recomendadas por el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE).</li> <li>Combinar su uso con fertilizantes orgánicos como el compost (rico en Nitrógeno, Fósforo, Potasio y otros nutrientes) y vinazas diluidas.</li> </ul> | Jefe de la UBPC encargada de esta actividad. |

**Anexo No. 31:** Medidas de mejora (Continuación). **Fuente:** Elaboración Propia.

|                       |                 |                                                        |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                               |
|-----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Producción de Melaza  | Bagazo          | Combustión en la caldera de vapor                      | Contaminación del aire por bagacillo, generando enfermedades respiratorias en los trabajadores de la zona.            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Regular el uso y control de sustancias tóxicas como el Azufre, el cual se utiliza en el proceso de sulfatación para la producción de azúcar blanco directo.</li> <li>Aplicar medidas internas como el sellaje de la casa de bagazo.</li> <li>Uso de medios de protección para los trabajadores como mascarillas.</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe del Laboratorio Químico</li> <li>Energético</li> <li>Jefe de Producción y Fabricación.</li> </ul> |
|                       | Vapor           | Generación de Vapor                                    | Explosiones en tuberías de vapor.                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>El personal que trabaja en esta área debe ser altamente calificado.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Recursos Humanos</li> <li>Energético</li> <li>Jefe de Producción y Fabricación</li> </ul>      |
| Elaboración de Etanol | Urea            | Almacenamiento                                         | Crecimiento de organismos vivos y aumento del contenido de NO <sub>2</sub> en aguas subterráneas y / o superficiales. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenar en lugares secos y mantener en buen estado técnico los equipos de almacenamiento para que no existan derrames</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Almacenamiento</li> <li>Jefe de Producción</li> </ul>                                          |
|                       | Ácido Sulfúrico | Transportación, Preparación de mostos y Almacenamiento | Corrosión                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Velar que no existan salideros del líquido en las tuberías y envase.</li> <li>Que el muro de contención este siempre limpio y con el tapón de drenaje puesto.</li> <li>Garantizar que su transportación, manipulación y almacenamiento cumpla con los requisitos de la NC: Sustancias Nocivas.</li> <li>Clasificación y requisitos generales de seguridad.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Almacenamiento</li> <li>Jefe de Producción</li> </ul>                                          |

**Anexo No. 31:** Medidas de mejora (Continuación). **Fuente:** Elaboración Propia.

|                       |                       |                                                 |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                    |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elaboración de Etanol | Petróleo Crudo Cubano | Combustión en Caldera de Vapor y Almacenamiento | Emisiones de SO <sub>2</sub> a nivel de la respiración del hombre en zonas aledañas a la destilería. Emanaciones de CO por mala combustión. Acidificación y Eutroficación por derrames y salideros. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Altura de la chimenea con dimensión adecuada.</li> <li>Monitoreo del aire.</li> <li>Garantizar un sistema de precalentamiento del combustible a temperaturas superiores a 100 °C, de manera que el efecto de los altos contenidos de aftalenos y altas viscosidades sean neutralizados.</li> <li>Los tanques de combustible deben cumplir con las NC sobre productos inflamables clase I.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Producción</li> <li>Gerente de la Empresa</li> <li>Químico de turno</li> </ul>      |
|                       | Vinazas               | Residuo de la Destilación                       | Derrame directo a la laguna de oxidación por estar la Fábrica de Levadura Torula sin funcionamiento.                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Todo el mosto debe ser diluido e incorporado a la línea de salida o canal de vertimiento de la Torula.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Producción</li> <li>Gerente de la Empresa</li> </ul>                                |
|                       | CO <sub>2</sub>       | Emisiones de la Fermentación                    | Cambio Climático. Toxicidad Humana.                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo del Aire por Especialistas del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC).</li> <li>Inspeccionar la hermeticidad de los Tanques de Fermentación.</li> <li>Uso de caretas por parte de los trabajadores del área, ante posible emisiones.</li> </ul>                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Producción</li> <li>Gerente de la Empresa</li> <li>Jefe de Mantenimiento</li> </ul> |

**Anexo No. 31:** Medidas de mejora (Continuación). **Fuente:** Elaboración Propia.

|                       |         |                             |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             |
|-----------------------|---------|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Elaboración de Etanol | Alcohol | Producción y Almacenamiento | Accidentes que contaminen el medioambiente | <ul style="list-style-type: none"> <li>- No estar en el área con cigarros, fósforos, u otros medios que puedan crear chispas.</li> <li>- Manipular con cuidados especiales los envases que contengan el líquido.</li> <li>- Que exista un buen sistema de aterramiento en el área.</li> <li>- Exigir el cumplimiento de las NC sobre protección contra explosiones y construcción de edificios para almacenamiento de líquidos combustibles inflamables.</li> </ul> | Jefe de Producción<br>Gerente de la Empresa |
|-----------------------|---------|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|